

第 9 回 國際 Cement Seminar 參加報告

The 9th International Cement Industry Operation Seminar, 1973

安 桂 商

〈雙龍洋灰 東海工場 生産部長〉

1. 序 言

美國 Chicago 에서 해마다 「Rock Products 社」의 주관으로 열리고 있는 「International Cement Industry Operation Seminar」에 韓國人으로서 參加하여 최초로 두개의 Theme(雙龍産業 趙海衡專務 및 筆者)을 발표한 것은 韓國 시멘트 工業 技術의 그 측면을 공식적인 입장에서 소개한 것이었으며 또한 韓國의 시멘트 工業 技術發達은 그야말로 괄목할 만한 것이라고 자부하고 싶다.

筆者는 다년간 국내 시멘트 工業의 일익을 담당해 왔으며 韓國人으로서 國際舞臺인 本 Seminar 에서 Theme 發表라는 그 自負心과 責任感을 갖고 순조롭게 발표를 완수했고 더우기 여러 가지 技術資料를 얻고 또한 外國 實務 담당자들과의 人間交流를 도모했음은 지금 돌이켜 생각해도 흐뭇한 일이었다고 생각된다.

筆者 나름대로의 本 Seminar 參加 所感과 그 배경 및 入手한 技術資料를 中心으로 단편적 이기는 하나 소개하고자 한다.

2. 세미나 參加者

本 세미나의 참가자는 公式會員과 非公式會員으로 크게 나눌 수 있다. 세미나의 성격이 말해 주고 있듯이 公式會員이 450名임에도 불구하고 실제 참가자는 800餘名이었으며 技術資料의 交換, 實務經驗談, 人間交流 등 그 雰囲気는 매우 좋았으며 有益하였다.

公式會員의 집계는 <表-1>과 같으며 美國이 주최하느니만큼 대부분이 美國人이었다. 특히 職位별로 보아 Manager級, Engineer가 대부분이었으며 重役 그리고 심지어 社長 및 會長도 끼어 있는 것이 이채로웠다. 또한 시멘트 工場 從事者보다는 시멘트 工業과 關聯되는 機械메이커, 耐火煉瓦메이커, 營業關係의 참가자가 그 대다수를 차지하고 있다는 것이 흥미로운 사실이었다.

參加國을 보면 英國을 위시하여 西獨, Brazil, Canada, Colombia, Costa Rica, Denmark 등

모두 20個國에 달하고 있다.

<表-1> Seminar 참가자 분류

국 별	President	Director	Super-intendent	Manager	Engineer	Foreman	기 타	Total
U.S.A.	60	12	16	135	139	3	11	376
Canada	4	2	1	14	8	2		31
Mexico				1	8			9
Germany		1			3			4
Switzerland	2	1			1			4
Ireland				2				2
Denmark	1				2			3
Korea		1		1				2
England					2			2
Norway		1			1			2
Finland					2			2
Venezuela				1	1			2
Elsalvador				1				1
China		1						1
India					1			1
Brazil				1				1
Costarica	1							1
Nica Ragua				1				1
Columbia	1							1
Total	69	19	17	157	169	5	11	447

3. Seminar 發表 테마

세미나의 發表 테마를 大別해 보면 <表-2>와 같으며 시멘트 工業에서 주로 문제되고 있는 사항을 實務面에서 추적해 나가는 방향이 대부분이었다는 것이 또한 本 세미나의 특징이라고 하겠다.

<表-2> 發表 Theme 및 件數

發 表 테 마	테 마 數	備 考
Management trends	3	
Fuel economy	4	
Operations	4	
Quality control	4	
Dust control	3	
Refractories	3	
Total	21	

本 세미나에서 우리들이 발표한 것을 소개하면 다음과 같다.

1) The Korean Cement Industry

發表者: 趙海衡專務(雙龍産業 Co.)

2) Raw Mix Blending Control

發表者: 筆者

發表方式은 주로 slide 를 준비하여 설명하고

있으며 發表時間은 15分間 그리고 質問에 대한 應答時間이 15分間 도합 30分間으로 제한하고 있다. 참고로 本 세미나에서 발표된 報文을 <表-3>에 소개한다.

Monday, December 3, 1973

9 : 00 A.M. Welcome

George K. Konz, Publisher, Rock Products

Moderator-Sidney Levine, editor, Rock Products.

"European cement industry-trends and practices", Ole F. Peddersen, president, F.L. Smidth & Co., Inc.

"Mini-computer systems for the cement industry", Derek Edwards, systems engineer, Computer Data & Control Applications, Ltd., Canada.

COFFEE BREAK

"The compressed work week in a highly-automated cement plant", Bernard Bonneau, plant manager, Ciments Canada Lafarge Ltee., Canada.

"Bearing maintenance", George Blair, staff engineer, Bantam Bearings Div., The Torrington Co.

12 : 00 Noon LUNCH

1 : 30 P.M. Fuel Economy Symposium

"Fuel economy for the U.S. cement industry", Frank C. Stevens, president, River Cement Co.

"Spray drying in processing of cement", J.P. Koedt, Niro Atomizer, Ltd., Denmark.

"Design and operating considerations to improve kiln thermal efficiency", H.M. Garrett, project manager, and J.A. Murray, project manager, Kaiser Engineers.

COFFEE BREAK

"Converting from wet to dry process in cement manufacturing-some possibilities", Werner Buech, general manager, engineering, Polysius Corp.

"Feeding the feeders—an approach to bin design", Gerhardt Bussian, manager, Merrick Scale Mfg. Co., and Ron Board, engineering manager, Merrick Mfg. Co.

Tuesday, December 4, 1973

8 : 00 A.M. Film

"Bulk handling via the Serpentix conveyor", Presentation by Donald C. Altman, sales manager, Serpentix Conveyortry Co.

9 : 00 A.M.

"The Korean cement industry", Hai-Hyung Cho, managing director, Ssangyong

Cement Industrial Co., Ltd., Korea.

"Raw mix blending control", Kei Sang Ahn, Quality control manager, Ssangyong Industrial Co., Ltd., Korea.

Quality Control Symposium

"Quality control in the cement industry—future impact", P. W. Gutmann, vice president, operations, Marquette Cement Manufacturing Co.

COFFEE BREAK

"Geologic quality control—guide to planned cement production", William E. Cutcliffe, president, Dunn Geoscience Corp.

"Sampling systems in cement plants—a review and evaluation of current techniques", P.R. Huntington, manager, Sampler Dept., The Galigher Co.

12 : 00 Noon LUNCH

1 : 30 P.M.

"Large roller mills—their performance and reliability", E.J. Klovers, senior applications engineer, Cement and Mining System Div., Allis-Chalmers Corp.

Dust Control Symposium

"Monitoring of particulate emissions from cement plants", Dr. Heinz T. Beutner, director of marketing, Lear Siegler, Inc.

COFFEE BREAK

"Gravel filter dust collector at General Portland's Tampa plant", J.A. Schueler, manager of application engineering, Envirex Inc., Rexnord.

"Trellex dust-proofing system", Tord Larsson, product manager, environmental products, Trelleborg Rubber Co., Inc.

Wednesday, December 5, 1973

8 : 00 A.M. Film

"Automatic palletizing and shrink wrapping of palletized loads", Presentation by Peter Keim, director, Moellers Maschinenfabrik, W. Germany.

9 : 00 A.M. Refractories Symposium

Film

"Refractory concretes in cement plants", (produced by Ciments Lafarge SA, France) presentation by John M. Stubus general manager, Lone Star Lafarge Co.

"Installation methods and techniques for monolithic construction in kiln linings", Norman Bernoth, assistant to vice president of sales, C-E Refractories Div., Com-

bustion Engineerng.

“Chemically—bonded refractories—a new era”, Thomas A.Geisler, research engineer, Lavino Div., International Minerals & Chemicals Corp.

“The year ahead”, Sidney Levine.

4. 主要發表 Theme 內容 要約

<表-3> 中에서 몇 개만 그 內容을 요약해서 소개하면 다음과 같다.

4-1 The European Cement Industry:Trend and Practice

(유럽 시멘트 工業의 動向과 實際)

발표자는 Denmark, F.L. Smidth & Co.의 社長인 Fedderson氏로서 유럽 시멘트 工業의 技術 動向과 경제성에 대하여 美國의 動向과 비교하면서 발표하였다. 즉 미국의 시멘트 工業은 오래동안 높은 人件費와 저렴한 燃料費로 생산해 왔으나 최근에 Energy shock로 인한 燃料費의 상승으로 燃料費와 人件費가 높은 유럽의 시멘트 工業 經驗을 뒤따르고 있다.

1) Clinker production

i) Wet process

Shaft kiln에서 Rotary kiln의 개발로 品質改善이 크게 향상되었다. 또한 당시의 Wet-process는 시멘트 品質의 均質과 經濟性 있는 process였다. 옛날의 Wet Process kiln에는 Preheater가 施設되어 있지 않았기 때문에 많은 燃料이 낭비되었다.

ii) Dry process

經濟的인 Raw mix의 粉碎, Handling 및 混合工程 등의 기술 개발로 1950年代에 다시 Wet-process에서 Dry process로 되돌아 왔다. 10년내에는 10,000 t/d Cap.의 Kiln 製造가 可能하다. New process는 Pre-calculator인데 Cooler에서 나오는 豫熱된 空氣를 利用하여 Kiln 外部에 Calculator를 設置하여 Suspension preheater와 Kiln 사이에서 Pre-calcination 하는 새로운 工程을 장려하고 있다. 이 Process의 有利한 점은 보통 Suspension Prehesaer에서의 calcination degree가 45% 정도인데 반하여 이 Process에서는 그의 90% 이상을 Kiln 前에서 Calcination하게 되므로 Kiln에서는 다만 Burning 工程만 담당하게 되어 耐火 壽命이 연장되고 또한 Kiln의 크기를 줄일 수 있다.

iii) Cooler

Cooler의 變遷過程은 Rotary cooler → Planetary cooler → Grate cooler → Planetary cooler로 바뀌어 왔다. Kiln의 대형화에 따라 運轉上的 문제점 및 Dust 문제로 인하여 유럽이나 世界各國에서는 F.L. Smidth會社가 再設計하여 製作하고 있는 Planetary cooler를 다시 많이 사용

하게 되고 있는 경향이 있다.

왜냐하면 이 Planetary cooler의 구조가 단순하고 施設費가 저렴하며 또 熱消費가 낮다는 점이 있기 때문이다. 특히 중요한 점으로서는 Grate cooler의 경우처럼 Dedusting 問題가 없다는 것이다.

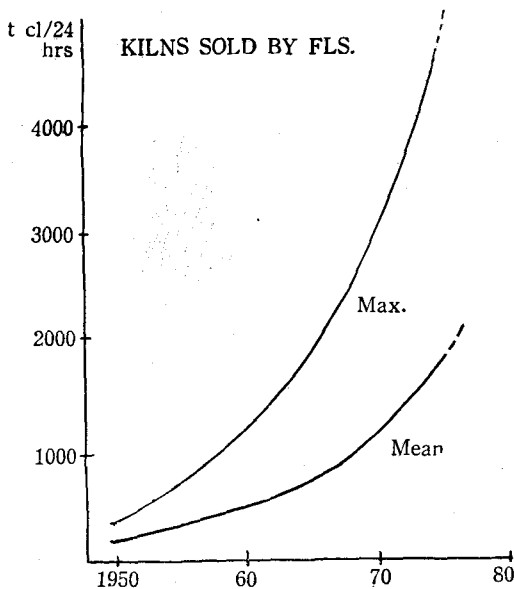
2) Kiln feed preparation

Pre-homogenizing before grinding, continuous sampling, 螢光 X-ray 分析裝置의 利用 그리고 Electronic data processing 등이 일반적으로 실시되고 있다.

3) 原料의 Crushing과 Grinding

Crusher는 原石의 abrasiveness에 따라 選擇되어야 한다. 통상 Single 또는 Double crusher가 使用되고 있다. 만약 原石이 磨耗性이면 Jaw crusher나 Gyratory crusher를 사용하게 되는데 2단계 내지 3단계의 Crushing 工程으로 處理하여 Raw mill 공급용으로서 25mm under size로 破碎하는 것이 보통이다. 非磨耗性 原石의 경우 Hammer mill을 주로 사용하게 된다. Wet grinding에 있어서는 Open circuit의 Compound slurry mill을 보통 채택하고 있다. Rod mill은 鑛山에서 다년간 사용되어 왔다. 이 type의 mill은 매우 高價이나 原石이 coarse하고 粉碎하기 어려운 원료에 사용하게 되면 10~15%의 높은 效率를 얻을 수 있다. 과거 10년간에는 Slurry mill에 Rubber liner가 시설되어 왔다. 그러나 10~25%의 電力과 生産 손실이 있다. 통상 Raw mill의 Drying capacity는 mill 內徑의 제곱에 비례한다. Grinding capacity에 있어서(內徑과 길이의 比가 일정할 경우)는 mill 內徑의 3.5 제곱에 비례한다.

<表-4> 年度別 Kiln 販賣基數 및 容量



4) Cement grinding

시멘트 粉碎工程에 있어서는 상당한 量의 열을 발생시키므로 mill cement를 water cooling이나 air cooling을 하게 된다. straight grinding mill에 있어서는 steel ball의 coating形成이나 微粉의 agglomeration 등으로 인하여 Blaine 3,200cm²/g 이상의 粉碎가 곤란하게 된다. 따라서 이에 대한 改善策이 研究檢討中에 있다. 또한 Reduction gear가 없고 mill 回轉을 調整(運轉中에)할 수 있는 Wrapround motor에 의한 cement mill 大型化(10,000 HP)의 연구가 진행되고 있으며 아울러 경제성 검토도 행해지고 있다. 이 Wrapround mill은 유럽에서 몇군데 설치되어 있으나 보통 mill에

비해 설치비가 높고 Operation cost가 높다는 것이 불리하다.

5) F.L. Smidth Co.가 販賣한 Kiln 基數 및 Capacity

Smidth社가 販賣한 Kiln基數 및 Capacity는 <表-4>와 같다.

4-2 美國 시멘트 工業의 熱經濟

이것은 U.S.A. River Cement Co.의 社長인 Frank C. Stevens氏의 테마로서 최근 미국내의 燃料費節減 문제가 절실한 시점에서 熱經濟 동향에 대하여 발표한 것이다.

1) 美國의 Energy 供給과 需要는 <表-5>와 같다.

2) 燃料使用에 따른 시멘트 生産比率은 <表-6>과 같다.

3) 燃料 原單位 추세는 <表-7>과 같다.

4) 燃料費의 上昇 추세는 <表-8>과 같다.

또한 Stevens氏는 현재 미국의 Oil 輸入費用이 매년 약 50億弗에 달하고 현 生産比率로서 생산한다면 1985年度에는 약 250億弗의 Oil 을 수입해야 된다고 말하고 있다.

미국의 시멘트 工業은 그동안 大型化, 效率化를 위한 많은 裝備과 좋은 Process control 등에 의하여 Energy를 절약해 왔다. 그러나 그 기술에 있어서 획기적인 변화는 없었다. 따라서 시멘트 工業에 있어서 New process의 개발에 관한 연구가 시급하다고 강조하였다.

Energy 浪費의 대표적인 예를 다음과 같이 열거하고 있다.

- 裝置運轉에 있어서 空回轉시키거나 斷續的인 운전으로 인한 Energy 손실.
- Low alkali cement 製造로 인한 Dust loss에 의한 Energy 손실.
- 乾燥裝置나 Kiln에 사용되는 燃燒用 과잉 空氣로 인한 손실, 즉 燃燒 Gas 中에 酸素가 1% 이상인 경우.
- 原因 不明에서 오는 不安定 狀態의 Kiln 운전으로 인한 耐火煉瓦 수명의 단축.

<表-5> 美國의 Energy 供給과 需要

(單位: 10¹⁵ Btu)

年度	70	75	80	85
總 Energy 消費	67.8	83.5	102.6	128.9
國內 供給 計劃	59.4	65.5	74.1	86.0
差	8.4	18.0	28.5	38.9

<表-6> 燃料使用에 따른 시멘트 生産比率

(單位: %)

年度	Coal	Oil	Gas	기 타
4 7	67.4	11.5	21.1	
6 9	47.2	8.4	44.4	
7 2	52.0	10.0	38.0	
9 7 (projected)	93.0	5.0	1.0	

<表-7> 燃料 原單位 추세

(單位: lb/t-d)

年度	Coal	Oil	Gas
47	665 lb/t-d	46.2gal/t-d	8,000cuft/tcl
72	503	37.6	5,750
87	400	29.6	4,500

<表-8> 燃料費의 上昇 추세

(單位: US \$)

	1970	1985	生産比率 (%)	Fuel price increases (1985) (%)
Coal(地下鑛山) tu當	7.84	960	22	25-30
“(露天鑛山) ”	4.87	6.80	40	35-50
Oil, bbl當	3.18	6.60	108	60-125
Gas, MCF當	0.17	0.53	210	80-250
Uranium, Lb當	8.00	15.00	87	85-105

註: 電力費 上昇比 3-7%(每年)

- 빈번한 Shut down과 Start up으로 인한 燃料 損失.
- Screening 裝置 없는 Over-crushing과 良質의 시멘트 製造를 위한 原料 및 Cement over-grinding으로 인한 電力 또는 Energy 손실.
- Cement type-I specification에 있어서 粉末度는 3,000~3,200cm²/g Blaine이라도 充分한데도 不拘하고 이것을 3,800~4,200cm²/g까지 지나치게 높게 粉碎하는 것 등이 바보스러운 일이며 또 Energy 손실이다.
- Concrete 工事に 있어서 Cement 袋當 0.7~7.9 Gal의 水量을 0.5~5.6Gal로 줄여서 사용하게 되면 28日 強度는 3,000lb/in²에서 4,500lb/in²로 增加한다. 換言하면 Cement 100lb當 70 lb의 水量을 50lb로 줄여서 사용하면 Concrete의 28日 強度는 50% 增加한다. 그런데도 불구하고 過剩 水量을 사용하여 Cement 浪費에다 Energy 손실을 기하고 있는 것이 이해하기 어렵다고 力說하고 있다.

4-3 Energy Crisis에 관련한 Cement kiln의 檢討

Kaiser Engineers Co.의 Project manager인 Mr. Hoke M. Garrett와 Mr. James A. Murray가 공동으로 발표한 報文으로서 燃料節減을 위한 Kiln의 技術開發을 다루었다.

1) 美國 시멘트 工業과 커른의 Energy 소비

i) 美國 시멘트 工業의 特徵

<表-9>

美國 Cement plant의 Data

Plant process	Number of process		Estimated rated capacity		Average plant rated capacity t/y
	No	%	t/y	%	
Wet	97	58.5	49,000,000	56	505,000
Dry	69	41.5	39,000,000	44	565,000
Total	166	100	88,000,000	100	530,000(平均)

<表-10>

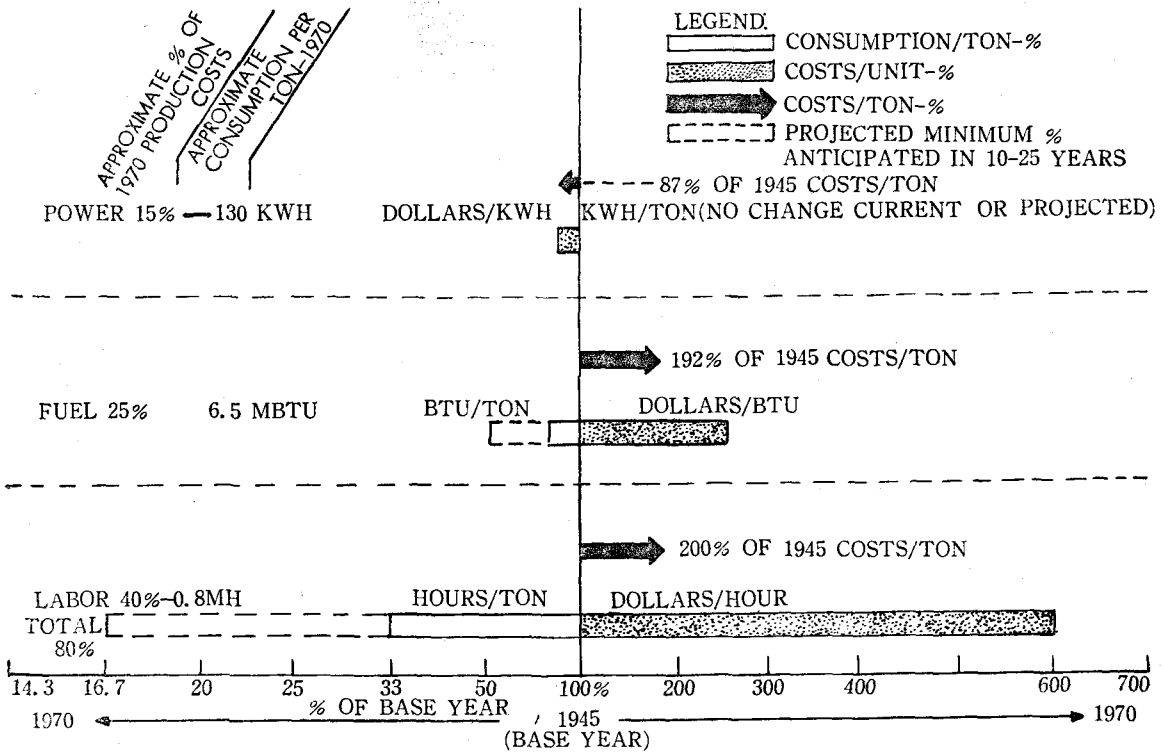
美國 Kiln Data

Plant process	Total kilns		Average kiln capacity	Kiln per plant number	Average kiln age
	No	%	t/y	Average	years
Wet	250	55	196,000	2.6	25.6
Dry	204	45	191,000	3.0	23.6
Total	454	100	194,000(Average)	2.7	24.7

註 : Average kiln age; 75%=25年, 25%=40年

ii) 美國 시멘트 工業의 Energy shock

- ① Labor cost; 0.35~0.75 man hours/t-cement(大容量工場 : 0.4 以下)
- ② 燃料; 3.5~4million Btu/t-cement
- ③ 電力; 130 kwh/t-cement



<그림-1> U.S. Cement Industry-Labor, Fuel and Electrical Consumption and Cost Relationship(1945~1970)

2) 既存 Kiln의 熱效率 改善

既存 Kiln의 보다 효율적인 熱管理를 위하여 Mr. Garrett는 다음과 같이 工程上 또는 施設 改善을 주장하였다.

i) Air infiltration

Kiln burner hood가 不良한 한 工場에서 Kiln seal을 完全하게 함으로써 US\$ 30,000의 투자로 年間 약 US\$ 90,000를 절약할 수 있다는 기술 검토가 되었다.

ii) Chain system의 追加設置

Kiln 排 gas의 廢열 회수로 熱效率을 높일 수 있고 燃料를 절감할 수 있다. 다음 <表-11>의 <表-11> Chain 設置로 인한 燃料節減

lb of chain per daily ton of clinker	Fuel saving-Btu/t-clinker	
	Wet	Dry
100	1,150,000	500,000
200	2,100,000	1,000,000
100 Diff	950,000	500,000

資料는 Chain system이 되어 있지 않은 Kiln을 比較한 것이다.

iii) Kiln feed end의 확대 改造

Martin Marietta Cement Co.에서 실제로 Feed end의 확대와 Chain system의 追加로 약 30%의 Clinker 增産을 기했고 약 20%의

燃料을 절감하였다.

iv) Waste heat의 回收

Cooler 또는 Kiln exhaust의 폐열 利用을 강조(例 Raw material drying과 Raw coal drying 등).

v) Cement rotary kiln의 trefoil system

應用研究

特徵은 Kiln 내부가 3個圓筒으로 구분되어 있기 때문에 Kiln 內의 表面積이 커지고 따라서 原料의 表面積이 커짐으로써 燒成面積이 擴大되어 熱效率을 높일 수 있다. 이 Trefoil system은 주로 Rotary limestone kiln用에서 利用되고 있다(<그림-3> 참조).

vi) Kiln tumbling ledges

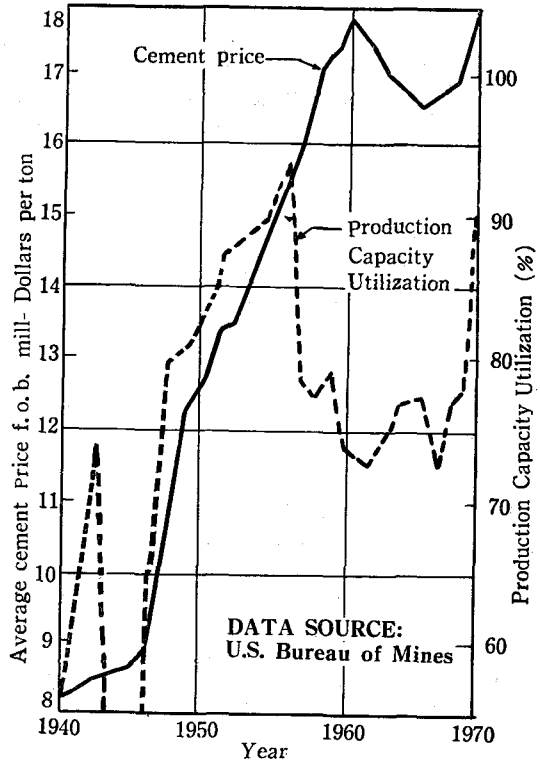
California Portland Cement Co.와 Kaiser Refractories에 의하면 Kiln의 Calcining zone에 Tumbling ledge 혹은 liter를 설치하여 Bed中の Cold core를 감소하여 熱傳達效果를 증진시키고 Sliding bed 形成을 방지하여 耐火煉瓦의 파모를 줄일 수 있음이 알려졌다.

California Portland Cement Co.의 13'×15'×490'의 Dry-process kiln(1963년에 設置)의 Calcining zone 100'에 걸쳐 3"-high steel ledge를 10 ring에 설치하여 單位生産 10% 증대 및 熱消耗量 10% 減少의 효과를 볼 수 있었다. 여러가지 형태의 ledge를 <그림-5>에 나타낸다.

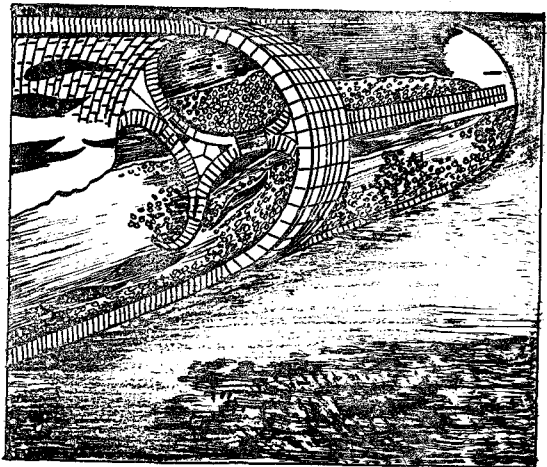
vii) Oxygen enrichment

燃燒用 空氣에 酸素를 추가 공급하여 Kiln 內의 연소 상태를 改善하는 방법은 1960年代 初에 Southwestern Portland Cement Co.에서 개발되었다.

이러한 개념은 High carbon, High ash fuel을 사용하는 공장에서 효과를 볼 수 있을 뿐만

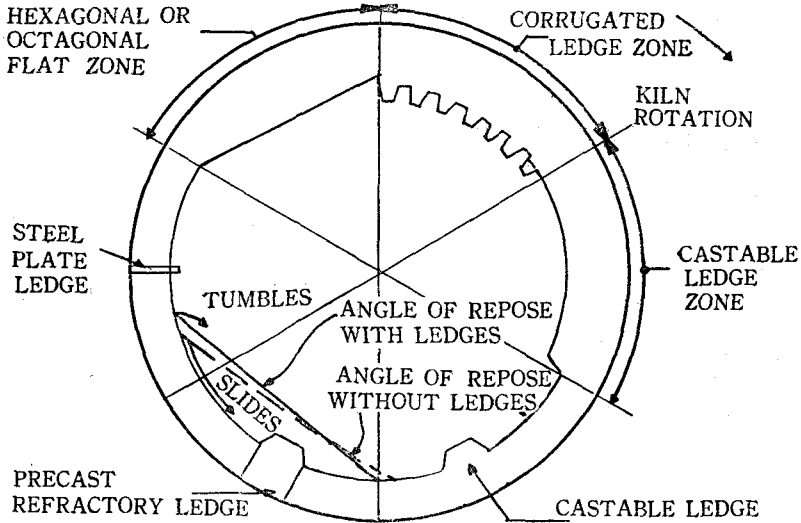


<그림-2> U.S. Cement Price and Production Data



<그림-3> Schematic Diagram of Rotary Kiln Trefoil System

資料 : Hardison Walker



<그림-4> Schematic Diagram of Rotary Kiln with Tumbling 1 Edge Concepts

아니라 Kiln내 Dust量이 많이 순환할 경우 높은 온도의 flame을 얻게 되므로 Dust에 의한 熱傳達 장애를 제거하여 單位生産増大 및 熱消耗量 절감이라는 至上目標을 달성할 수 있다.

燃焼時 酸素를 追加 供給하면 상대적으로 窒素의 含量이 줄어들기 때문에 燃焼 Gas量도 감소되고 단위 체적당 燃焼熱도 증가한다. 그 밖에 H₂O 및 CO₂의 含量이 상대적으로 증가됨으로써 Flame emissivity가 증가하여 높은 온도의 화염을 얻을 수 있고 熱傳達를 개선할 수 있다.

酸素를 추가 공급할 경우 燃焼空氣中 35% O₂까지 그 효과가 급격히 증가하며 35% O₂ 이상의 경우 완만하게 된다.

1972年 Rock Products Seminar에서 발표된 Mr. Frank McEntee의 「The Use of Airco Oxygen-Fuel Burners in Cement Production」에 의하면 각각 Coal, Oil, Gas를 사용하는 10개의 공장에서 단위 생산 증대는 最高 20%, 熱消耗量 감소는 最高의 18% 效果를 보았다고 한다.

Odessa Plant에서는 11.5'×400' Kiln(gas 사용)에 酸素를 추가 공급함으로써 700t/d Kiln에서 840t/d 生産이 가능했고 연료는 12%로 감소되었다.

viii) Other thoughts

① Process control

1960年代에 Computer를 도입 使用함으로써 5~15%의 生産増大와 3~5%의 燃料節減을 보았으며 부가하여 耐火煉瓦 수명이 2배나 연장되고 均質의 品質을 얻을 수 있었다. 1963~1972年 사이에 약 20개의 Computer가 Cement plant에 도입되었다. Process의 複雜性에도 불구하고 Burning process에도 Computer의 使用가 가능해졌다. Computer에 의한 Process control은 Total optimization의 方向으로 개발되고 있고 새로운 Kiln開發에도 使用될 전망이다.

② Forced production

Cement plant에서의 最適運轉條件은 原料條件, 燒成狀態 및 IDF, Cooler 등의 裝備에 달려 있다. 이러한 여러 가지의 조건에 따라 最適의 상태보다 더 많은 原料를 공급함으로써 最大生産을 목표로 순간 순간 Kiln의 Operating data를 基礎로 하여 운전하는 Plant도 있다.

③ Staged wet to dry process conversions

Wet process에서 Dry process의 轉換은 두가지 類型이 있다. 첫째는 Dry process kiln 設置시 Wet process slurry 混合을 고려하여 35% 水分을 15%로 감소시켜 Pellet 를 만들어 Wet process kiln에 공급하면 生産량 增大와 熱消耗量 減소를 기할 수 있다. 둘째는 Dry process kiln으로 代替 혹은 既存 Wet process kiln을 개조하는 것이다.

Thailand의 Jalapathan Cement Co., Ltd.에서는 Dry process로 轉換하기 위하여 Grate preheater와 Dry process raw mill을 追加設置하고 Wet process kiln을 改造함으로써 Dry raw mill과 Wet raw mill의 Slurry를 混合 Pellet로 만들어 Grate preheater에 공급했다. 이러한 Wet process의 전환은 원료 조건 및 經濟性에 입각하여 결정하게 된다.

④ Dewatering wet process slurry

Wet process kiln에서 水分을 含有하는 Slurry에 의한 熱消耗은 20~25%에 달하므로 이를 Filter를 이용 제거하면 生産增大와 열소모량 節減이 가능하다.

1940~1960年代에는 Wood, Steel, Cloth로 된 Drum filter를 사용하였으나 燃料費에 비해 人件費가 激증하였으므로 더이상 經濟性이 없었다. 최근 들어 Plastic 그리고 Man made fiber로 된 Filter의 개발로 人件費가 줄어들 수 있었으므로 이를 이용하고 있다.

⑤ Raw materials

크링카의 Burnability와 品質은 原料의 化學組成, 鑛物學的 性質 및 particle size에 달려 있다. 過去에는 크링카品質에 注重하였기 때문에 Burning zone 溫度 상승의 요구에 따라 Radiation heat loss와 煉瓦消費를 초래하였다. 최근에 들어 燃料費의 증가에 따라 Burnability 向上을 위한 다음과 같은 방법이 채용되고 있다.

- Silica 含量의 減少
- Iron 含量의 增加로 Flux 증가
- MgO(最高 3%) 증가
- Low calcining heat 및 Low burnability heat의 원료 개발
- Cement mill 電力減少를 위한 크링카중의 高強度成分 증대의 Raw mix 조정
- Raw meal에서의 Blaine value 증가
- CaCl₂, SiF₄, CaF₂ 등의 첨가
- Kiln dust의 回收
- 許容限度內에서의 Alkali content 증가

⑥ Insulating refractory brick

미국에서는 몇 개의 공장에서 Kiln shell로부터의 Radiation heat loss를 감소시키기 위하여 Insulating brick를 사용하고 있다. 유럽에서는 美國보다 더 많은 工場에서 使用하지만 그 長短點에 대해서는 아직도 불명하다.

⑦ Dust insufflation

많은 Cement 工場에서는 Kiln에서 순환하는 Dust를 Burner를 利用하여 Kiln으로 다시 불어 넣어 주기도 한다. 이는 주로 Burning zone의 Coating 形成을 촉진하여 煉瓦의 수명 연장에 그 目的이 있다. 이러한 Dust는 화염을 따라서 高溫이 되어 Burning zone과 Calcining zone의 熱傳達를 좋게 한다. 그러나 Kiln inlet에서의 Load를 증가시켜 Waste gas의 熱損失을 크게 하나 이를 回收하여 Kiln에 再供給하면 문제가 되지 않는다.

⑧ Preheating primary air

石炭을 사용하는 工場에서는 Cooler로부터 Primary air를 뽑아 내 使用하거나 미리 豫熱하여 使用하기도 한다. Gas, Oil을 사용하는 경우에 大氣中の Air를 利用한다. Primary air 溫度가 증가하면 Air와 Coal의 混合 과정에서 爆發이 염려되므로 사전에 Burner maker와 협의하는 것이 좋다.

⑨ Kiln burners

Burner의 重要性은 Plant energy의 대부분이 여기를 거쳐 나간다는 사실만 보아도 중요하다. Flame의 最適狀態도 여러 가지가 있으며 原料의 種類, 燃料의 種類, 裝備의 種類 등에 따라 달라지며 Kiln operator는 각기 특징 있는 화염을 좋아한다. 따라서 Burner의 使用은 Science라기보다도 Art라고 할 수 있으며 耐火煉瓦의 수명 연장, 生産性向上, 熱效率 改善을 위해서 Engineer-operator-maker가 合心 研究하여 Art에서 탈피하여 Science로 確立하여야 한다.

3) Dry process kiln의 考察

美國에서 최근에 시설된 Suspension preheater kiln과의 비교

i) 熱消耗量 比較

<表-12> 熱消耗量比較

Process	熱消耗量 (million Btu/t-cl)	比 率 (%)
Long dry	4.2	100
Lepol	3.2	85
SP	3.0	71

ii) Waste gas 比較

<表-13> Waste gas 比較

Process	waste gas (scf/t-cl)	比 率 (%)
Wet	100,000	100
Long dry	70,000	70
SP	50,000	50

iii) 美國과 世界 各國의 SP kiln의 Data

<表-14>

美國과 世界 各國의 SP kiln의 Data

製作會社	開發年度	設 置 臺 數		美 國 1971	比 較
		1966	1971		
Humboldt	1950	580	267	16	1969年 Humboldt 에 合併
Wedag	1962	15			
F.L. Smidth	1955	24	75	1	

Polysius	1958	55	132	3
Krupp	1964	11	26	3
MIAG	1968	0	5	2
Total		285	505	22

Fuller-Humboldt社의 4-stage Suspension preheater kiln은 <그림-5>에, 그밖의 Smidth, Polysius, Krupp, Miag社의 Suspension preheater에 대한 것은 <그림-6>에 나타나 있다.

iv) Secondary furnace(SF) kilns

IHI SF preheater kiln의 Flow sheet는 <그림-7>에 나타나 있다. 이 SF의 일반적인 특징은 Kiln 入口에서 Calcination degree가 45%(SP)에서 90%(SF)로 증가되어 Kiln에 공급되므로 다음과 같은 利點이 있다.

- ① Kiln specific capacity의 增加(22% 增加)
- ② 耐火煉瓦 原單位 減少(약 50%)
- ③ 燃料의 減少(SP에 비해 약 5% 낮다)
- ④ NOx gas의 감소
- ⑤ Process control이 좋아질 것으로 예상
- ⑥ Alkali control이 좋아질 것으로 예상
- ⑦ 設置費가 적어질 것으로 예상

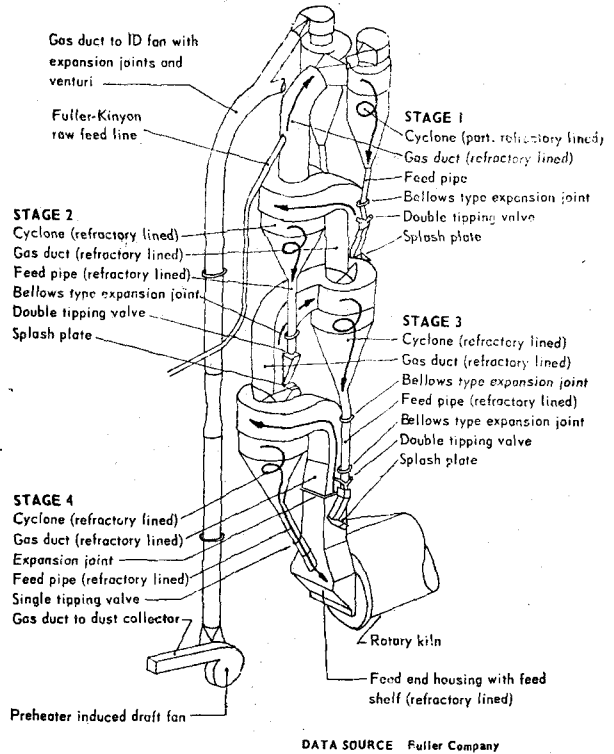
v) Japanese SF system

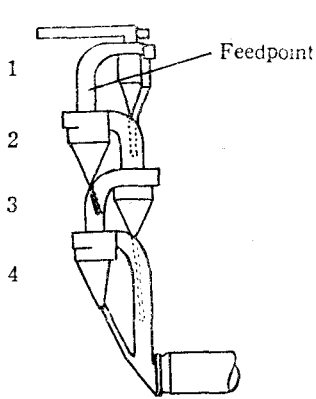
SF system의 概念과 開發은 日本이 처음 시 <그림-5> Fuller-Humboldt社의 4-stage SP작 했다. IHI Suspension flash preheater(SFP)는 1966년에 開發되었으며 이 SFP는 獨逸 Humboldt SP를 조상으로 한 子孫으로서 License를 1963년에 獲得하였다. 다음에 이와 類似한 SF system은 다른 독일 SP system을 母體로 하여 다른 日本 會社에서 개발된 것이다.

vi) European SF system

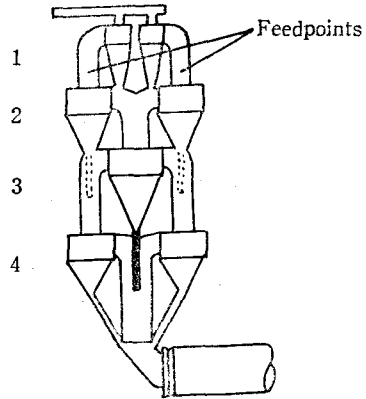
Polysius에서는 <그림-10>에 나타낸 바와 같은 Flash calcining process(FCP)를 開發하였다. 그 特徵은 Vertical flash calcining shaft에 몇 개의 Burner가 設置되어 있으며 全 Process에 所要되는 熱量의 50%는 여기서 燃燒되도록 되어 있다. 특히 Alkali build-up 問題의 防止와 Calcining degree가 95% 以上이 되도록 設計되어 있다는 점이다.

Polysius FCP는 West German Cement Manufacture와 協定으로 獨占權을 가지고 있으며

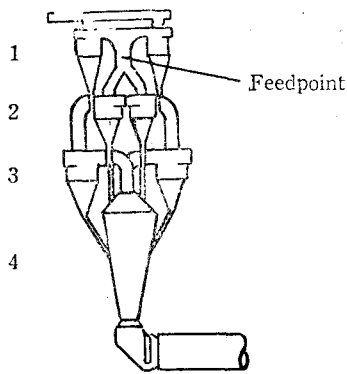




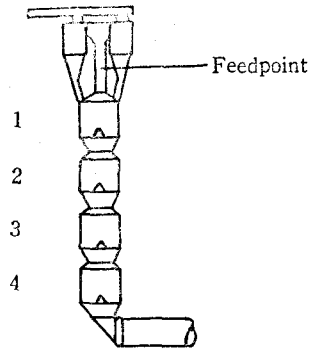
F.L. Smidth



Polysius



Miag



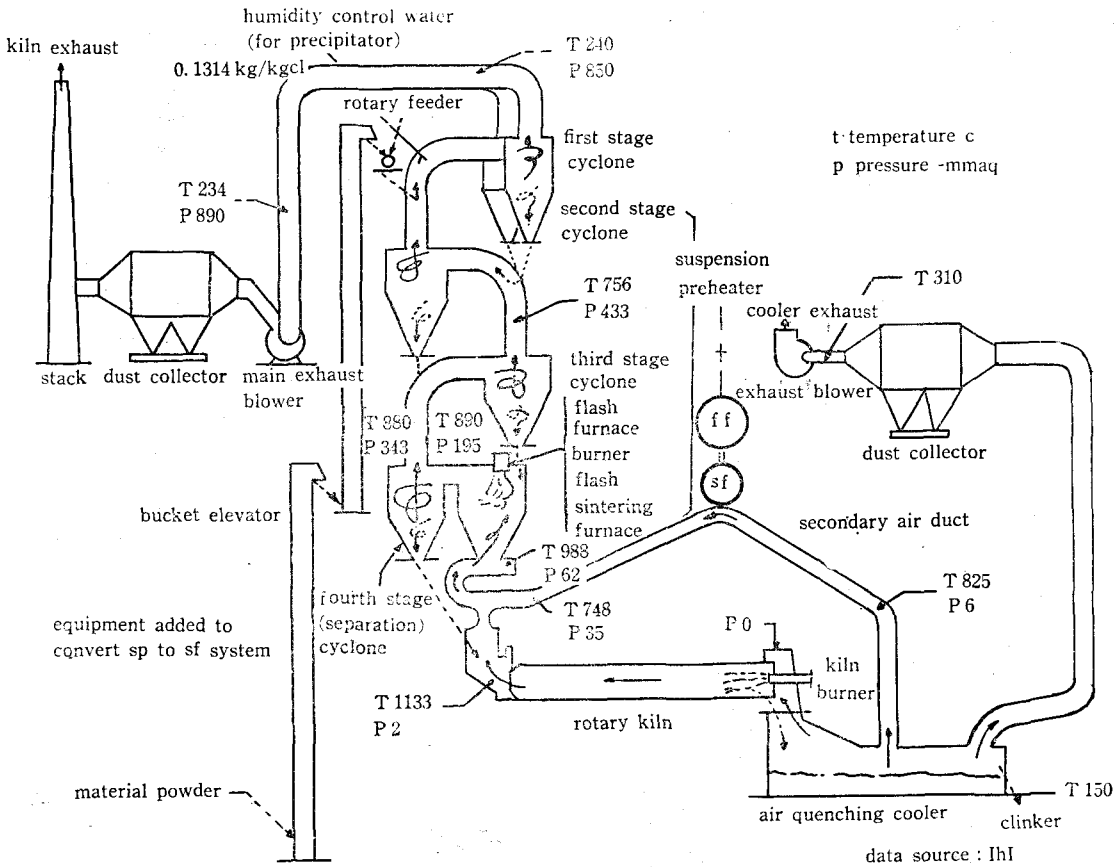
Krupp

<그림-6> Smidth, Polysius, Krupp, Miag社의 SP

이 West German Cement社는 이 Type의 Process 經驗을 1,500t/d 容量의 Kiln에 대해 6年間이나 가지고 있다. 이 West German Cement社에서 처음 이 Process 概念을 開發하게 된 동기는 Kerogen(Oil shale 中에 含有되어 있는 것과 같은 原石中에 可燃性成分이 있다)이 含有되어 있는 原料 處理를 위하여 시작되었다. 최근에 미국으로부터 3,000t/d의 이 Process cement 工場 建設의 注文을 받고 있다.

日本 SF system과 FCP의 差異點 比較

- ① Gas나 Oil 代身 FCP에서는 石炭을 사용할 수 있다.
- ② Kiln by-pass duct를 채택하지 않기 때문에 Alkali 농축의 減少, Planetary cooler를 사용할 수 있다.



<그림-7> Flow Sheet of Rotary Kiln with Suspension Flash Preheater

- ③ Oil shale과 같은 可燃性質 燃料을 사용할 수 있다.
- ④ 6年間的 실제적인 Plant 設置 經驗을 가지고 있다.

vii) American SF system

Fuller Co.에서는 日本에서 개발한 SF system에 대하여 조사하고 있고 현재 SF system 개발을 위하여 활발히 움직이고 있다. Fuller社에서는 이 Process를 1974年初에 Market에 내놓을 수 있을 것으로 예상된다.

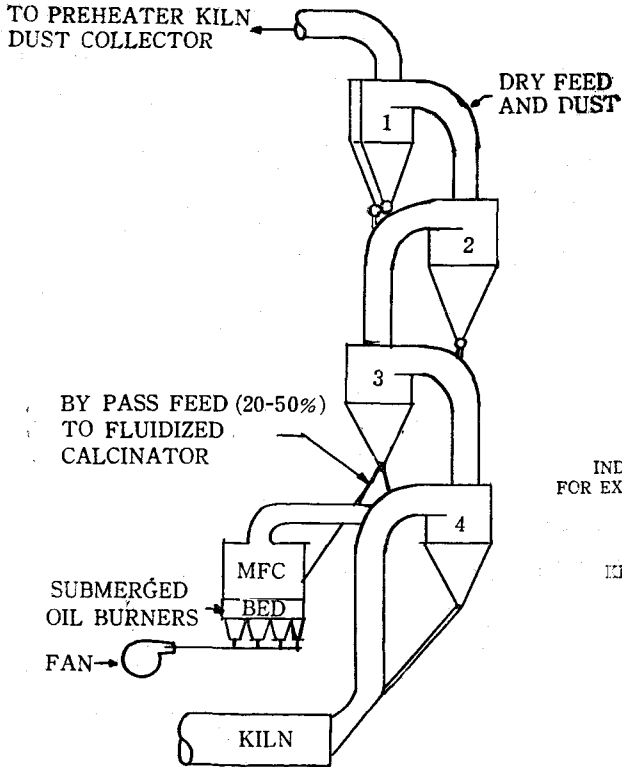
Allis Chalmers Co.에서도 역시 日本 SF system에 대하여 技術을 調査하고 있는 중인 바 현재 研究狀況에 대해서는 未確認되었다.

viii) 美國에 있어서의 Other kiln concepts

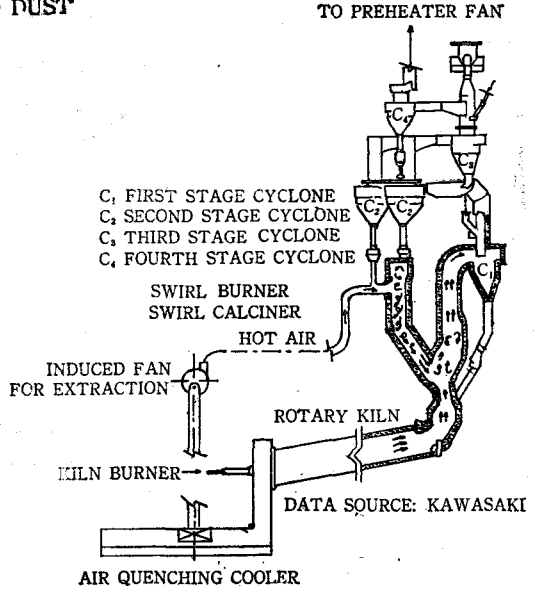
① TECO (Thermo Electron Corp.)의 Trough kiln 開發

特徵은 <그림-12>에서 보는 바와 같이

- 재래의 Rotary kiln과 달리 Stationary kiln이다.
- Preheater zone과 Calcining zone에서의 처리는 Trough Calciner kiln에서 담당하고 Cooler



<그림-8> Schematic Diagram of Rotary Kiln with Mitsubishi Fluidized Calcinator (MFC)



<그림-9> Schematic Diagram of Rotary Kiln with Reinforced Suspension Flash Preheater (RSP)

waste gas를 유도하여 사용.

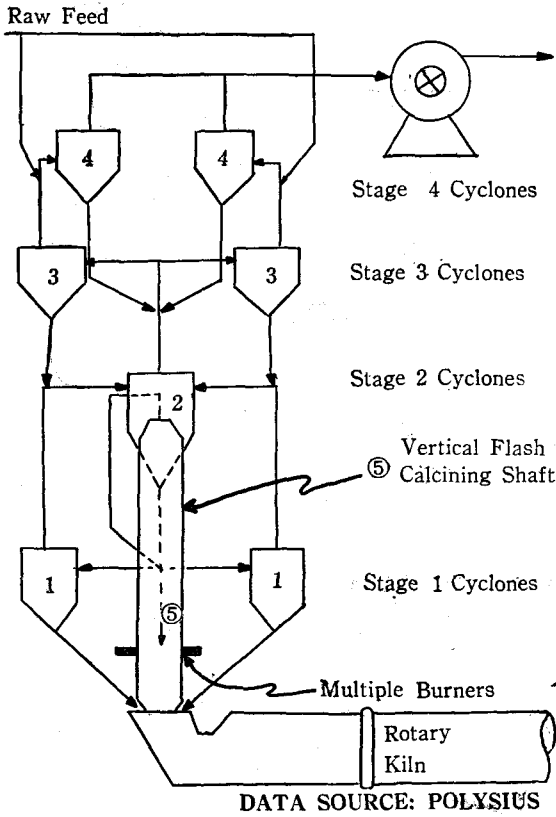
- Special burner가 Raw mix 中에 침입되어 있다(Trough calciner kiln).
- Trough kiln에 供給되는 연료도 全體 消費量에 대해 약 20%.
- Low alkali clinker 생산시 Trough kiln에서 By-pass 處理可能.
- Long dry kiln에 比해 裝置投資가 5~10% 減少된다고 예상됨.

② HOC(Harrop Osciplate Calciner)

HOC process의 特徵은 Fuller clinker grate cooler와 달리 物資의 輸送은 Stationary hearth 위에 있는 Osciplating push plate로서 단계적으로 移送된다(<그림-12> 참조).

이 Calciner의 特殊한 點은 <그림-13>에서 보는 바와 같이 Hearth plate 위의 物質은 Push plate에 의하여 계속적으로 하부로 이동이 되면서 새로운 熱 접촉면이 생기고 혼합된다. 普通 固定 密閉된 Chamber 상부에 몇 개의 Burner가 장치되고 있다.

HOC는 Slurry나 粉末狀의 原料 Feeding도 粒狀의 原料처럼 可能하다고 報告하고 있다. 또 한 이 裝置內의 原料는 파동처럼 흐르는 작용으로 Dust가 많이 발생하지 않는다는 또 하나의



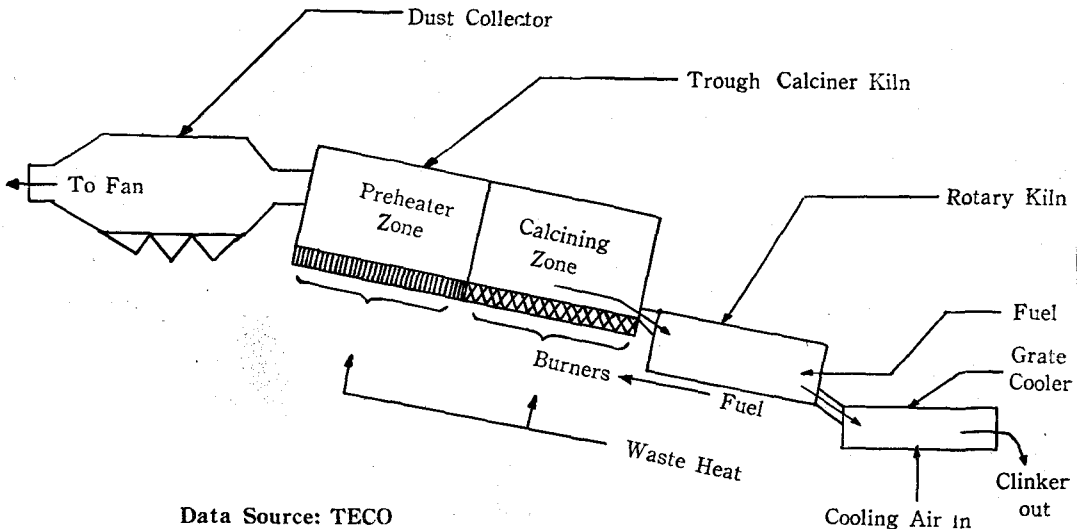
<그림-10> Schematic Diagram of Rotary Kiln with Polysius Flash gCalcinin Process

특징이 있다. 이 Calciner에서는 原料供給量이나 層厚의 조절은 Push plate의 Stroke 回數로 쉽게 調整되며 또 Feed hopper나 Vertical gate나 Pusher 機能으로도 가능하게 되어 있다.

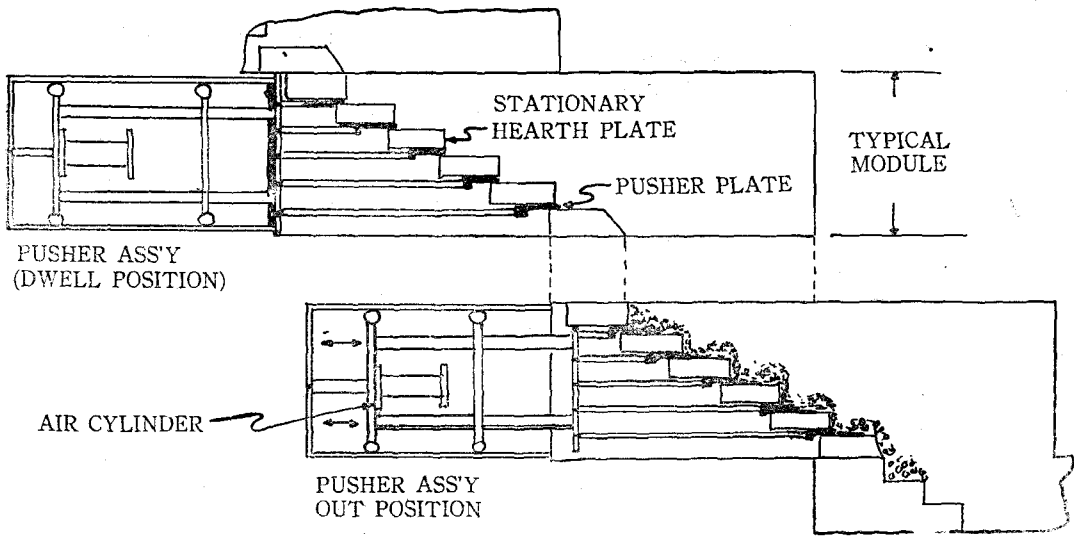
이 Pusher는 외부에 설치되어 있는 Pneumatic이나 Hydraulic cylinder에 의하여 Solenoid valve와 變速 Timer로 작동하게 된다. 이 장치는 1966년에 처음 設置되었는데 이 때의 사용 목적은 주로 粘土中の 有機物質이나 水分을 제거하기 위해서였고 工程 溫度는 1,038°C (1,900°F), 規模는 100t/d였다. 그 다음에는 1972년에 Alumina를 Calcine하는 목적으로 20t/d 규모의 工程溫度는 1,316°C (2,400°F)였다. 이들 裝置는 약 15個月 동안 補修로 인한 運休 없이 Operating 되었다. 가장 중요한 것은 Cement clinker 生産을 위한 數日의 Pilot test가 성공적이었다는 것이다.

③ Fuller Co.의 Pyzell System

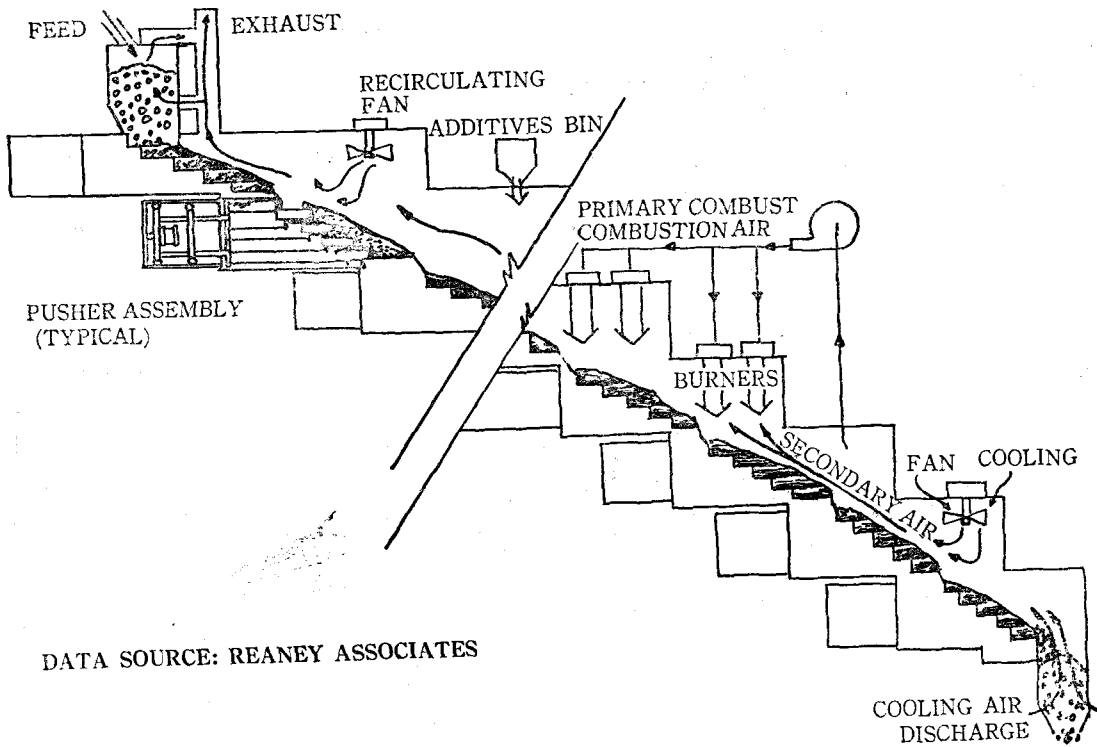
1957년부터 Fuller社에서 Pyzell fluid bed type kiln을 開發, 研究를 해 왔으나 熱效率



Data Source: TECO
<그림-11> Schematic Diagram of Rotary Kiln and TECO Stationary Trough Kiln

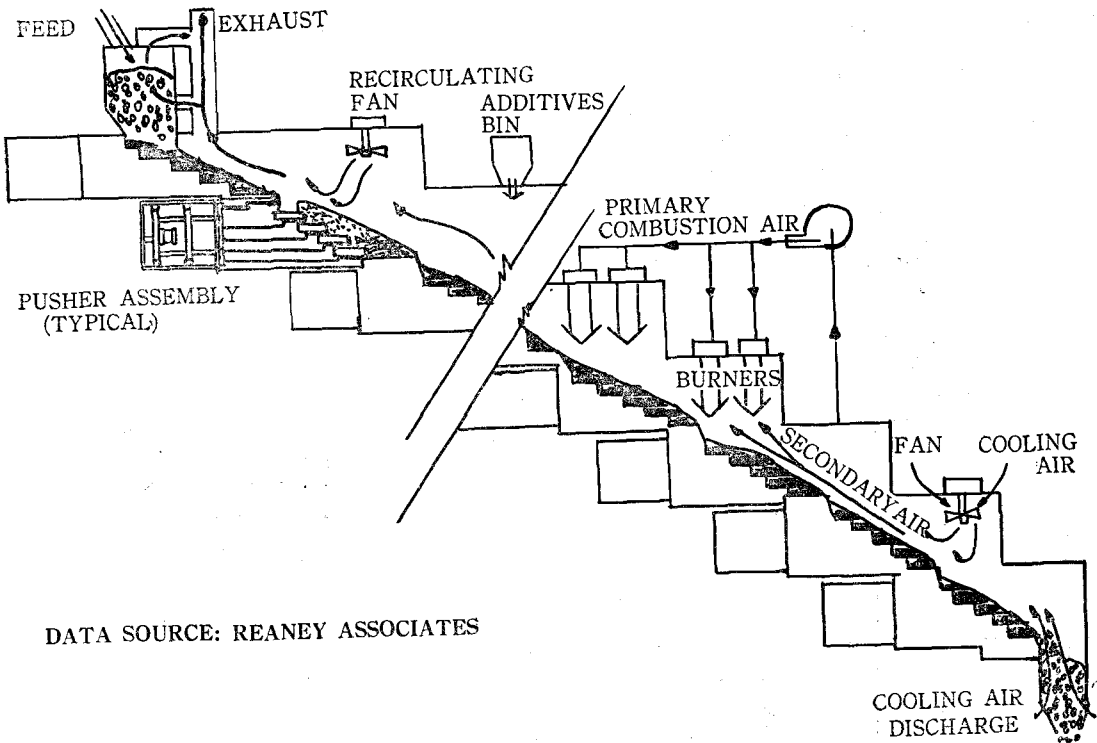


<그림-12> Schematic Diagram of HOC Osciplate Module



<그림-13> Schematic Diagram of HOC Calciner

面에서 市場開拓을 할 수 있을 만큼 좋지 않아 發展되지 못했다.



DATA SOURCE: REANEY ASSOCIATES

<그림-14> Schematic Diagram of HOC Calciner

4-4 美國 시멘트 工業에 있어서의 品質管理(過去와 未來)

Marquette Cement Mfg. Co., 의 副社長인 Phillip W. Gutmann氏의 보고 主題로서 美國의 시멘트 工業에 있어서의 品質管理에 대하여 과거와 미래를 다음과 같이 主張했다.

1) Cement Specification

시멘트 規格制定時 Business와 관련되는 各種의 Parameter들이 고려되어야 한다. 대부분의 現 Specification은 Basic business parameter와는 아무 關係 없이 造作(Artificial)된 것이어서 대개의 경우 投資를 만족하게 回收하려는 會社와 企業의 努力에 대하여 實제적으로 害를 끼쳐 왔다. 다시 말해서 Cement 工業에 있어서 Quality control은 기본적인 經濟學이나 Marketing, Operating, 製造 등을 도외시한 Specification으로부터 전개되어 있다.

한 例를 소개하면 어떤 工場에서 Max 0.6%의 Alkali라는 規格(ASTM)에 맞추어 운전한 결과 Alkali를 0.7%로 할 때보다 Dust 處理 때문에 年間 260,000 弗(約1億4百萬圓)이라는 막대한 자금의 더 소요되었다. 나는 0.7% Alkali 시멘트가 0.6%보다 Concrete에 더 有害하다는 Technical data를 發見하지 못했다. 그럼에도 不拘하고 0.1% 더 엄격한 規格 때문에 年間 260,000弗

의 낭비를 하게 됨으로써 그만큼 再投資의 감소를 가져 왔다.

시멘트의 供給 과잉 現象을 빚었던 1960年代에 嚴格하게 要求되던 어떤 規格은 現在와 같이 시멘트의 不足現象을 빚고 있는 時點에서 사라져 버린 것도 있다. 그렇다고 해서 오늘날의 시멘트 品質이 현저하게 나쁘다던가 혹은 公衆에게 害를 끼치고 있다고 하는 증거는 없다.

내가 말하고자 하는 것은 規格이 必要 없다는 말이 아니고 미래의 시멘트 規格은 시멘트 工業과 消費者에게 다같이 有益한 Quality control이 되어야 한다고 力說하였다.

이에 이어, Phillip W. Gutmann氏의 동료인 Jerry Yorder氏는 앞으로 數年 동안 격계 될 Quality control 上の 問題點을 크게 네가지로 구분하여 다음과 같이 보고하였다.

i) Construction cost

오늘날 工場은 점점 大型化되고 있다. 즉 Kiln은 8,000t/d, Grinding mill은 9,000 HP에 接近하고 있다. 따라서 Operation 方式도 점차 効率化되고 있으며 또 예상할 수 없고 다루기 힘든 Side effect도 일어나고 있다. 同一한 大型 Kiln과 Cooler에서 生産된 2種의 Clinker(liter weight 1,300 및 1,000)는 <表-15>와 같은 差異가 있었다.

<表-15> Clinker liter weight別 品質 比較

	Clinker 1,300g/l	Clinker 1,000g/l
Crystal 強度	C ₃ S, C ₃ A Well crystalized	Imperfect crystalize growth (interstitial phase 포함) 28日 強度가 더 높다.
Size distribution	10~25μ range가 많다.	10μ 이하가 더 많다.
Alkali	Much higher K ₂ O (1,000g/l clinker에 비해 2倍)	

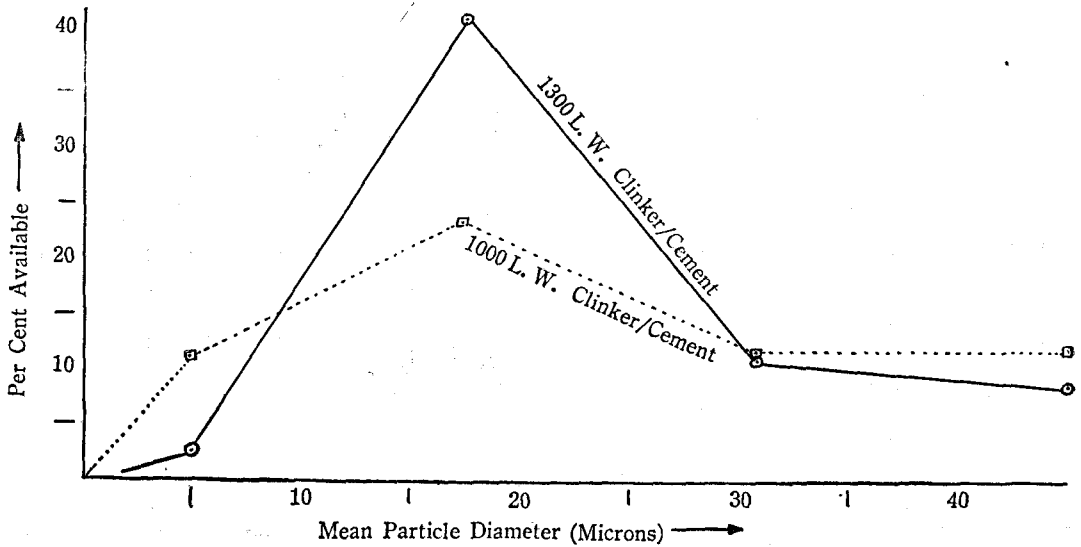
ii) Air 및 Water pollution

현재 시행되고 있는 Pollution law(公害防止法)도 Clinker의 Alkali와 Sulfur level에 직접적인 영향을 미칠 것이다. Alkali를 0.5~0.9%로 유지시키기 위해 포집된 dust의 일부는 Kiln에 다시 보내고 나머지는 버렸다(30~400t/d).

1975年 7月 1일부터 Water pollution law 때문에 Alkali와 Water pollutants를 많이 포함하는 排水를 規制하게 된다. 이것은 1977年에 가서 오늘날과 같은 方法으로 Dust를 處理할 수 없음을 뜻한다. Kiln dust를 더 많이 Kiln에 Return시킨다면 Clinker 中에 Alkali와 Sulfate 含量이 더 높아지고 다른 害로운 결과를 빚게 된다.

Alkali와 관련된 재미 있는 현상이 있다. 즉 1,300g/l clinker에서 Alkali의 90%가 Calcium Silicate phase로 存在한다(X-ray diffraction study) Alkali는 일반적으로 KC₂₃S₁₂로 존재한다고 알려져 있지만 꼭 그렇게 존재할 必要性이 없다(<그림-15> 참조).

Large kiln과 Mill system에 있어서는 Small particle size fraction에 Alkali가 濃縮되는 傾向이 있다. Alkali solubility는 Particle size와 밀접한 관계가 있다. 특히 25μ 이하에서 더 많은 量이 녹는다. 1,300g/l clinker를 舊工場의 容量이 적은 Mill에서 분쇄하였더니 大型 Mill에



<그림-15> Actual Available C₃S in the Various Sieve Fractions

서 분쇄한 것보다 28日 強度가 300lb/in²(약 21 kg/cm²) 높아졌다.

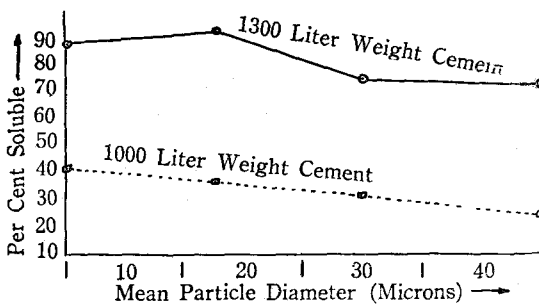
iii) Fuel

몇 년 前에는 시멘트 工場과 發電所에서 石炭使用으로부터 Oil로 燃料를 서둘러 轉換하였는데 지금은 Oil shortage로 인하여 그 반대 경향을 나타내고 있다. 石炭中の Ash content와 Burning rate에 따른 C₃S의 변동은 약 3.6%이다. Coal ash에 따른 C₃S 변동은 5% 以內이고 C₃S 全變動의 28% 程度이다(<表-16> 참조).

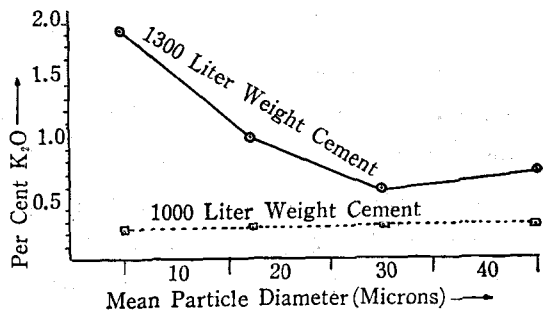
品位가 더 나쁜 石炭을 사용하면 Clinker 成分의 변동은 더욱 커진다는 것을 예상할 수 있다. 어떤 工場은 이미 Clinker 中の SO₃가 2%를 초과한다고 보고 있으며 石炭灰分과 熱量이 直結되는 Burning 문제 때문에 어떤 特殊 크링카 生産의 조업이 중단된 사실도 경험했다.

iv) Raw material source

Perfect cement stone은 거의 소진되고 이제는 Cement 製造에 있어서 Blending procedure



<그림-16> % Soluble K₂O in the Various Sieve Fractions



<그림-17> Distribution K₂O in the Various Sieve Fractions

<表-16> Monthly C₃S Variation for Type-I Clinker as Related to Possible C₃S Variation due to the Effects of Coal (單位: %)

	April	May	June	July	August	Average
Plant C ₃ S High	62	59	54	56	60	58.4
Plant C ₃ S Low	44	42	41	38	37	40.4
Plant C ₃ S Range	18	17	13	18	24	18.0
% Effect of Coal On Monthly Plant C ₃ S Range	5.0~	5.3~	6.9~	5.0~	3.8~	5.0~
C ₃ S Range	20.0	21.2	27.7	20.0	15.0	20.0

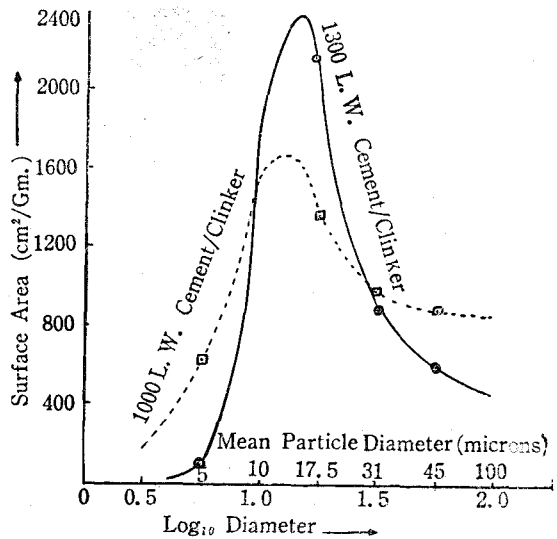
註: Calculation of % Effect of Coal On Monthly C₃S = $\frac{=\Delta C_3S(Total)}{Monthly\ Plant\ C_3S\ Range} \times 100$
 =3.6/13.0 =27.7% etc.

가 더욱 필요하게 되었다. 또한 이제는 시멘트에 해로운 Alkali와 MgO가 낮은 Raw material 을 구하기 어렵게 되었다. 이 중에서도 문제는 Alkali인데 從前과 같은 방법으로는 Air and water pollution regulation 때문에 더 이상 Alkali를 調整할 수 없게 되었으며 燃料中の 黃分과 石灰灰分이 Cement clinker 成分을 결정하게 될 것이다.

결국 Alkali를 어떻게 Operating level로 처리할 것이냐하는 방향으로, 效率이 우수한 大型 Kiln, Cooler, Finish mill, Separator 등에 대한 새로운 檢討가 要請되고 있다.

5. 參加後記

1) 美國 國民의 Energy crisis에 대한 깊은 認識 滯美中 단편적인 것이기는 하지만 美國市民 들의 Energy crisis에 대한 認識은 대단한 것이었다. 예를 들면 乘用車의 經濟速度인 60 mile/h는 아무리 급하다 하더라도 個人이 잘 지키고 있었다. 또 인상적인 것은 Christmas를 전후하여 예년에 비해 자발적으로 그 電力消費量이 減少되고 있다는 것으로 보더라도 美國의 Energy crisis는 잘 극복해 나갈 수 있을 것이라는 어느 T.V Announcer의 말을 Chicago에서 시청하고 다시 한번 놀랐다. New York의 밤거리는 생각보다 화려하지 않고 어두운 밤이었다는 것이 筆者가 느낀 인상이었다.



<그림-18> Surface Area Distribution for the Various Sieve Fractions

2) 부드러운 Seminar 雰圍氣

통상 公式的인 모임의 분위기는 딱딱하기 마련이지만 本 Seminar의 분위기는 그야말로 화기애애한 것이었다. 예를 들면 Frank C. Stevens氏가 美國의 심각한 Energy crisis에 대한 Theme 發表後 어느 참가자가 질문했는데 그 질문 內容인즉 「日本은 石油 한 방을 產出되지 않는 나라이다. 이러한 나라의 Energy crisis는 매우 심각한 입장에 놓여 있을 것이라고 생각되는데 Energy crisis가 日本의 Sauna(사우나)에 미치는 영향에 대해 說明해 주십시오」라는 질문을 하여 場內에 爆笑을 자아내게 한 것을 보더라도 애써서 분위기를 부드럽게 하기 위한 Wit 있는 노력이라고 생각된다.

3) Korean cement에 대한 再認識

筆者가 테마를 發表하기 前에도 모는 參加者가 나를 대하는 態度에 별로 關心이 없는 것으로 보였으나 Theme 發表後 모든 사람이 나에게 대해 주는 態度는 매우 好感을 갖게 되었다고 생각되며 韓國 시멘트 工業에 대한 認識을 새롭게 했다고 자부하고 싶다.

4) 다리 힘 길러야

本 Semina 參加者를 위한 많은 카텔 파티가 있었는데 여기서 자기 나라의 소개, 자기 회사의 소개, 또한 技術交換 등이 이루어져 이 자리야말로 國際人間交流場이라고 할 수 있었다. 그러나 이 파티에는 원래 의자를 준비하지 않으므로 몇 시간이고 서서 먹으며 對話를 나눈다는 것이 나에게서는 여간 고통이 아니었다. 다음 參加者를 위하여 부탁하고 싶은 것은 필히 다리 힘을 길러서 참가하도록 권유하고 싶다. 왜냐하면 이 자리가 人間交流 그리고 새로운 여러 가지 Information을 얻을 수 있는 매우 重要한 자리기 때문이다.

5) 本 Seminar 參加 권유

해마다 있는 本 Seminar에 적어도 韓國에서 한 두사람이 參加하는 것을 건의하고 싶다. 특히 우리 나라 시멘트가 國際 무대를 대상으로 輸出을 하고 있는 현실과 장래를 위하여 世界的인 시멘트 工業의 동향을 파악하고 여러 가지 새로운 情報를 얻는다는 것이 또한 매우 重要하기 때문이다.

끝으로 本 Seminar에 參加케 해주신 雙龍 Group의 會長님을 위시하여 애써 주신 重役 여러분에게 感謝 드리는 바이다.