

韓國 시멘트 生産技術의 어제와 오늘

朴 炳 哲

<雙龍洋灰東海工場生産部長>

1. 서 언

「시멘트」誌 편집자로부터 원고 청탁을 받고 나서 제목을 음미하여 원고지를 대하고 보니 「원고 제목과 필자」가 여러가지 측면에서 궁합이 맞지 않음을 절감하여 망설임이 앞선다.

언젠가는 누군가(협회가 좋을 것으로 본다) 양케이트라도 내어 정리, 집대성해야 될 줄로 생각한다.

그러나 별로 시간적 여유도 없고 해서 이번에는 나 혼자 양케이트를 받았다고 가정하여 지극

히 좁은 범위와 각도에서 본 한국의 시멘트 生産技術의 어제와 오늘을 비교해 보면서 내일의 시멘트 生産기술의 方向設定에 대하여 개략적으로 적어볼까 한다.

2. 生産技術의 位置

우리나라 시멘트 회사의 10年史를 돌이켜 살펴 보면 『어떻게 하면 짝 이자의 돈을 適期에 공급 요리하느냐』 하는 財務部門에 회사경영의 총신경을 집중해야 했었던 때가 있었던가 하면(지금은 또 다른 측면에서 문제되고 있지만) 『만들

<表-1>

國內 各社別 크링카 製造方式

(1972年度)

社 別	規 格 (m)	基 數	燒成能力(T/D)	製 造 方 式	導 入	竣 工 年 度
東 洋	4φ×42	1	700	Lepol	Toyo	1942
	3.6φ×40	1	650	Lepol	Polysius	1961
	4.14φ×63	1	1,400	(sp) Dopol	M. H. I	1967
大 韓	3.15φ×123	2	350×2	Wet	F. L. S	1957
	3.15φ×123	1	350	Wet	F. L. S	1961
	3.25φ×127	1	400	Wet	I. H. I	1968
雙 龍	3.5φ×54	2	600×2	(sp) Humboldt	Humboldt	1964
	4.4φ×60	1	1,000	(sp) Dopol	M. H. I	1967
	4.4φ×70	2	1,500×2	(sp) Dopol	Polysius	1972
	5.6φ×95	2	2,550×2	(sp) Dopol	M. H. I	1968
韓 一	3.4φ×48	2	750×2	Lepol	Polysius	1964
	4.4φ×70	1	1,500	(sp) Dopol	"	1969
現 代	3.8φ×38.2	1	650	Lepol	ACL	1964
	3.9φ×47	1	700	(sp) Humboldt	Humboldt	1968
忠 北	3.7φ×48	2	750	Lepol	K. D. Y	1966
星 信	4.4φ×70	2	1,500	(sp) Dopol	Polysius	1969
高 麗	4.8φ×70	1	2,000	(sp) Humboldt		1973

어 놓은 시멘트를 어떻게 파느냐』(어떻게 하면 남보다 더 싸게(?) 더 많이 팔 수 있을까)하는 판매부문에 총 매진했던 시절도 있었다.

한편 최근 국제경기가 상승하고, 「공해다」 「투자효율이다」하여 시멘트 공급의 절대 부족인 상황과 정부의 수출지원 등이 점차 줄어들 것이라는 얘기가 나오면서부터 국제 경쟁력의 문제가 심각히 머리 들기 시작하면서 기술 개발의 필요성이 논의되고 있다.

국제 경쟁력은 한마디로 원가와 品質로 요약할 수가 있다. 생산기술이 原價와 品質의 경쟁에 기여하는 비율은 가장 높다고 하겠으며 따라서 경영에 차지하는 생산 기술의 위치나 중요도를 가장 큰 管理항목으로 생각하여 연구, 개발해 나가야 함은 경쟁에 이기는 또 하나의 첩경이라고 본다. 100억불 수출이 멀지 않은 「80年代 全산업의 輸出化」가 성취되는 날 수출에 대한 상당한 특혜(경영외적 특혜)가 총전과 같은 수준, 같은 성격으로 계속된다고 믿기는 어렵다.

어쩔 수 없이 「原價와 品質」을 경영의 제1의 명제로 내세우고 생산 기술에 눈을 돌리지 않으면 경쟁에 지고 회사는 문을 닫아야 하는 상황이 절대적으로 온다고 믿고싶다. 산업 구조가 확대되고 경제 성장이 빠른 사회일수록 사라지는 기업의 수는 상대적으로 늘어난다고 보아야 할 것이다.

3. 生産技術의 발자취

지난 10年間 걸어진 생산기술의 발자취를 구체적인 기술적 측면과 성장과정 등 일반적인 측면으로 나누어 살펴 보고자 한다.

3.1 성장 과정의 분류

생산 기술을 광의로 확대 해석하여 그 걸어진 과정을 살펴 보면 기술 도입기, 현상 파악기, 능력 개발기, 해외 진출기의 네 단계로 나눌 수가 있다.

1) 技術 導入期 (1962~1967)

이 시기에는 1944년에 가동을 시작한 삼척의 동양시멘트를 제외한(현재 동양도 그 당시의 규모나 시설이 거의 바뀌었지만) 全社의 생산 시설이 독일, 美國, 日本 등지에서 차관 형태로 완벽하게 도입된 것으로 계약에 따라 설치, 성능 보

<表-2> 製造方式別 分類 (1972年度)

製造方式	kiln 數	生産能力(T/D)	%
濕式	4	1,450	7
半乾式	7	4,250	20
乾式	12	15,400	73
계	23	21,100	

장, 기술 지도를 해준 새로운 시설이었다.

시멘트 제조기술 그 자체는 새로 나온 新製造方式이 아닌 이상 우리 기술진만으로는 불가능했다고 볼 수 없었으나 여러가지 측면에서 自己成長, 개발 등을 위해 도움이 되고 자극을 주어 성장이 촉진된 것만은 사실이다.

특히 동양에서는 1964年 처음으로(정확히 1~2年の 差는 있으나 그 성과를 알기 전 계약, 건설에 착수하였다) S.P kiln을 도입 성공 함으로써 그 후 신설 또는 증설되는 프란트에서는 S.P가 급격히 증가한 것도 사실이다.

특히 이 기간은 외국 기술진이 장기 상주하게 되었으므로 우리 기술진과의 긴밀한 접촉 및 상호 관찰을 해 왔으며 따라서 외국인은 우리 기술진에 대한 인식을 새롭게 했고 우리는 외국 기술진이 갖고 있는 배워야 할 태도, 장점을 도출해 낸 것이 또 하나의 소득이라고 할 수 있을 것이다.

2) 현상 파악기 (1967~1969)

이 시기는 차관에 依하여 도입 건설된 시멘트 생산 시설의 기계적 성능, 능률 및 용량에 대한 현상파악과 分析에 주력했던 기간으로 볼 수 있으며 이는 다음의 능력 개발기에 동기부여가 되고 밑거름이 되었다는 點에서 보다 중요한 시기라고 말할 수 있다. 특히 大型 프란트에 對한 현상분석 파악은 向後의 시설투자를 위한 중요한 자료가 되었다.

3) 능력 개발기 (1970~1972)

이 시기에는 차관에 의해 도입 건설된 시설에 대한 그간의 운전실적 및 경험을 토대로 현상분석을 하고 또 그間 해외 기술 훈련을 통해 얻은 외국 시멘트 기술과의 비교 분석, 방향감각, 管理시스템, 사고방식, 중요측정기구의 도입 등 여러가지가 복합되어 괄목할만한 발전을 가져왔다.

근이 동기 부여를 따지자면 점차 느끼기 시작한 경영진의 생산 기술에 대한 높아진 인식, 외국 기술진 및 외국 시멘트 시설을 접촉한 후 싹트기 시작한 우리 기술진의 능동적인 자금심(소박한 애국심)의 발로 등을 들 수가 있다.

이 기간의 몇가지 업적을 들자면

- ① 시설개조에 의한 생산능력 증대
- ② 운전방법 개선에 의한 효율 증대
- ③ 品質管理技法 도입 및 현상타파
- ④ 과학적인 측정기구 도입활용으로 공정안정 및 效率向上
- ⑤ 計裝시설보완 및 개발에 의한 品質 향상 등을 열거할 수 있다.

4) 해외 진출기 (1973~)

10년간 온갖 시련을 겪으면서 자라는 우리나라 시멘트 생산기술은 생산 제품의 해외 진출과 함께 해외 진출의 발판을 어느 정도 구축했다고 볼 수 있다. 물론 이제 시작한 것에 불과하지만 이를 계기로 하여 앞으로 한국 공업 기술의 해외 진출 및 인정을 받음으로써 급진적인 경제 성장을 가져올 수 있는 전망이 밝다. 우리나라 생산 기술의 수준은 최근 한국의 시멘트 공장을 견학한 日本, 프랑스, 英國 및 동남아 각국의 소위 시멘트 전문가가 인정한 것이며 필자가 1972年末 캐나다, 美國, 유럽을 여행하면서, 특히 1972年 12月 3日 시카고에서 개최되었던 국제 시멘트공업 세미나에서 400여명의 세계 시멘트 관련 기술진과의 접촉에서 피부로 느낀 것이기도 하다.

최근 몇몇 회사에서 추진하고 있는 분쇄공장의 해외진출 등에서도 엿볼 수 있다.

3.2 生産技術의 成長

1) 燒成技術

—燃料의 變遷—

무연탄과 유연탄의 混燒로부터 燃燒裝置의 開發과 더불어 Bunker—C oil과 무연탄의 混燒로 바뀌었으며, 다음 Bunker—C oil의 專燒로 變遷되어 왔다. Bunker—C oil의 混燒는 1964年 하반기부터 各社가 거의 동시에 시작하여 1967년부터는 대부분 Bunker—C oil 專燒로 전환하였다.

<表-3>은 石炭과 Bunker—C oil의 分析表이다(1967年度 S社).

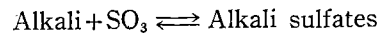
<表-3> 石炭과 Bunker—C oil 分析値

항목	연료	石炭	Bunker—C oil
發熱量 (kcal/kg)		5,320~6,140	10,520~10,320
ash (%)		16.64~34.81	0.04~0.01
moist (%)		0.28~2.5	0.24~0.05
sulfur (%)		—	4.92~2.20
固定炭素(%)		35.11~80.67	—
VM (%)		1.52~15.97	—

石炭을 燃料로 사용할 경우 「炭質의 不均一」로 인한 公정의 不安定이 결정적인 약점이라 한다. Bunker—C oil의 경우에는 「高硫黃分」에 의한 coating trouble과 싸워야 했다.

<그림-1>에는 석탄의 發熱量에 따른 生産量의 變動을 나타내고 있으며 무리한 운전 조건에서 生産량을 증대한다면 C zone 방향으로 ring 生成傾向이 높아짐을 알 수 있다.

한편 Bunker C oil 중 硫黃分이 높을 경우,

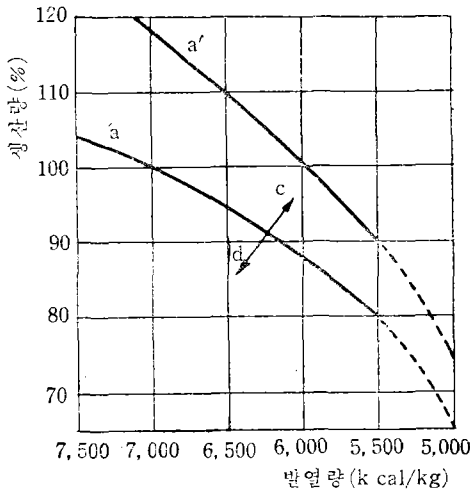


로 평형을 이루면 alkali compounds의 대부분이 크링카에 잔존하여 preheater coating trouble이 다소 감소되기는 하지만 SO_3 가 과잉으로 존재하여 $[\text{SO}_3]/[\text{Alkali}] > 0.5$ 이면 600°C 에서 CaSO_4 를 生成하고, $1,000^\circ\text{C}$ 에서 $2\text{CaO} \cdot \text{SO}_3$ (melting point 800°C) 및 $\text{CaO} \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{SO}_2$ (melting point 800°C)를 生成하여 preheater coating trouble을 유발하게 된다.

—燒成技術의 變遷—

1964年 이전의 燒成工程은 計器에 의한 「자동 제어원리」의 활용 보다는 燒成手의 경험에 그 依存度가 높았다. 따라서 「燒成手에 대한 특별우대」가 지극히 당연한 것으로 누구나 믿어왔으나, 새로운 plant 도입이 늘어나면서 計裝施設과 지식, 경험이 쌓여 公정의 溫度, 壓力, 動力 등과 燒成反應의 상관 관계를 이용한 計器運轉이 1967년부터 서서히 빛을 보기 시작하였다.

計器運轉의 초기 단계에는 溫度, 壓力, 動力의 指示計 및 記錄計의 이용에 그쳤으나 자동 제어의 도입과 더불어 原料供給, 燃料供給, hood draft control 등에 PI 및 PID controller가 이용되어 燒成狀態의 計數的 判단이 가능하였으며 특히 연속 가스 분석 장치(gas analyser)인 O_2



a : 정상운전 생산량 a' : 무리한 운전 생산량
c : ring 형성 경향 d : 정상 coating

<그림-1> 燃料의 發熱量에 따른 生産量 變動
coal dust 成分: H₂O 0%
V.M. 15~30%
R on 90μ 8~12%

meter 와 (O₂ meter 의 이용은 소성분위기의 해석에 크게 도움을 주었다.

특히 Kiln Hood Draft 의 일정 유지를 위한 Cooler 의 諸要素自動制御裝置는 火焰의 형성 및 安定에 필요 불가결한 장치로써 工程의 生産性을 향상시켰으며 燒成手가 kiln 을 보고 운전하는 시간보다 計器 panel 을 향하고 있는 시간이 보다 길게 되었다.

—燃燒反應의 改善—

1964 년 Bunker—C oil 燃燒裝置가 도입되면서 燃燒反應을 熱傳達現象 및 熱經濟面에서 검토함으로써, cooler 로부터의 熱回收 증가, 一次空氣比 감소를 위한 노력이 1968 년부터 꽃피기 시작하여 1970 년에 와서 그 결실을 보게 되었다.

燒成反應의 개선은 대부분이 burner 先端의 개조에 의한 一次空氣의 壓力, 속도 조절에 의한 火焰 형태의 最適化와 cooler 의 層厚運轉에 의한 熱回收의 증대 등을 통하여 달성되었다.

各社는 이를 위하여 技術檢討와 현장 실험을 실시하였고 燃料의 절감과 增産에 박차를 가하게 되었다.

—clinker 增産—

燃料, 燒成技術, 原料改善 및 燃燒反應의 개선에 의한 技術開發을 통하여 그간의 경험과 연구를 축적함으로써, 各社는 保障容量에 만족하지 않고 kiln 의 잠재능력 개발에 착수하여 20% 선의 clinker 增産에 성공한 것은 1970 년 전후의 일이다.

Lepol kiln 에서는 成球技術의 개선과 gas flow system 의 개조 등으로 30~40% 이상의 증산을 기했으며 S.P. kiln 에서는 原料調整의 개발과 preheater 의 일부 改造 및 熱回收 기술 연구 등에 의하여 20% 이상의 증산을 달성했다.

—소성과 원료조정—

소성공정을 연소반응과 관련해서 고찰하던 전 근대적인 사고방식에서 탈피하여 原料와 관련해서 추구하기 시작한 것은 각사가 기술자의 해외 파견 등을 고려하기 시작한 1966 년 이후로 보아야 할 것이다.

즉 ① 原料 供給量의 均一,

② 原料成分의 均一,

③ 粘土鑛物의 均一 및 性狀

과 관련하여 문제를 제기함으로써 해결하고자 하는 방향설정을 실감하기 시작하였으며 특히 粘土鑛物과 연관해서 생각한 것은 극히 최근의 일이 아닌가 보고 있다.

① 原料 供給量의 均一

불균일한 原料供給量이 키른운전에 미치는 영향에 대해선 다음과 같이 약속할 수 있다.

● 燒成狀態의 악화

原料供給量이 불균일하면 키른내에 原料가 균일하게 흐르지 못하므로 燒成이 곤란할 뿐 아니라 소성대에서의 코팅 형성 및 탈락의 변화를 심하게 일으킨다. 빈번한 코팅 탈락은 쿨러 1실의 압력을 변화시켜 자동제어 계통을 혼란케 한다. 이로 인하여 2차 공기 온도의 변화를 초래하고 키른의 소성 상태를 악화시킨다.

● 열 소모량의上昇

상기와 같은 현상으로 燒成 상태가 빈번히 惡化됨에 따라 제한 운전이 불가피하여 크링카 생산량이 감소될 뿐만 아니라 연료의 使用量이 증가되어 열 소모량을 상승시킨다.

● cyclone 의 積粉

불균일한 原料供給은 cyclone 內의 壓力 變化를 초래하고 이에 따른 공기(원료 포함) 흐름의 변동 및 온도 분포의 비정상(특히 高溫)으로 인한 싸이크론 적분을 야기시킨다.

上記의 이유로 인해 커튼 自體의 용량으로서는 生産량을 增加시킬 수 있음에도 불구하고 제한 운전을 면치 못하며 더구나 빈번한 運休를 초래함으로써 生産량을 크게 감소시킨다.

參考로 <그림-2>에 원료 공급량을 균일하게 하기 위해 채택한 장치 改造 例를 나타내었다. 그림에 의하면 개조 전에는 웨딩피드 위에 로타리 피드(Rotary Feeder)가 1개만 있어서 R, F의 blade가 bending 되거나 變形되어 순간 순간의 供給 원료량에 변화가 올 수 있다는 것이다. 그래서 순환계통(circulating system)을 추가하여 R, H를 하나 더 설치하므로 이를 보완한 것이다.

② 原料성분의 균일

원료성분의 균일은 「원료성분의 구성비(Modulus)의 균일」을 궁극적 目標로 하고 있는 바 이는 시료채취 및 처리 과정의 合理化 및 각 성분의 신속한 분석 방법의 確立이 先行되어야 하며 이를 토대로 현장으로의 Feed back을 위한 工

程 自體의 分析과 통계적인 사고방식 및 기법이 조화되어야 소기의 目的을 달성할 수 있다.

③ 粘土鑛物の 性狀 및 균일

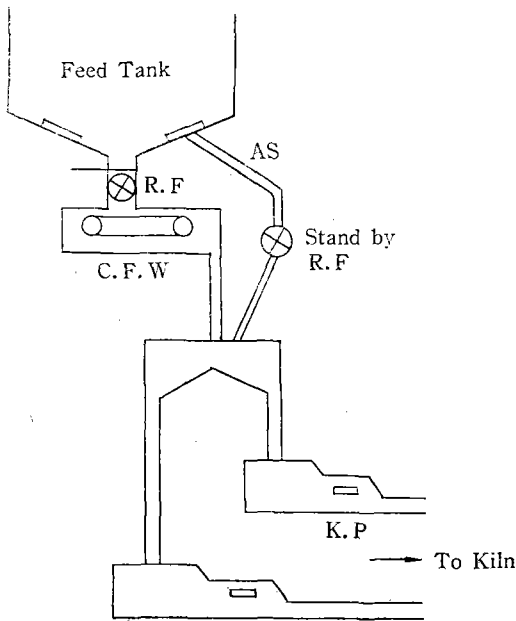
크링카 生産量이나 品質에 있어서 粘土가 미치는 영향은 극히 크므로 粘土의 선정에 있어서는 그 性狀을 충분히 조사하여 使用할 必要가 있다.

시멘트 原料用 粘土의 性狀을 조사하는 수단으로서

- 化學分析
 - 石英 및 粗石英의 定量
 - 砂質量의 測定
 - X선 回折
 - 광학현미경에 의한 관찰
- 등에 의하는 것이 일반적이다.

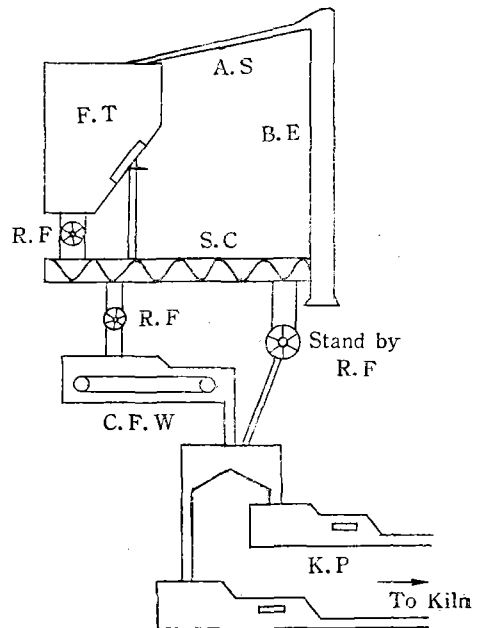
粘土의 性狀과 被粉碎性에 대해 알아 보면 粘土중의 砂質量과 被粉碎性間에는 <그림-3 과 4>에 表示한 바와 같이 아주 높은 상관성이 보이고 砂質量이 많은 粘土일수록 一定時間 粉碎했을 때 88 μ 잔사량이 많고 一定분말도로 하는데 요하는 時間도 길다.

다음에 크링카의 Burnability(F-CaO로 기준)와 粘土性狀과의 관계를 보면 粘土의 규산율, alkali 량, 砂質量과 상관관계가 있음을 <그림-



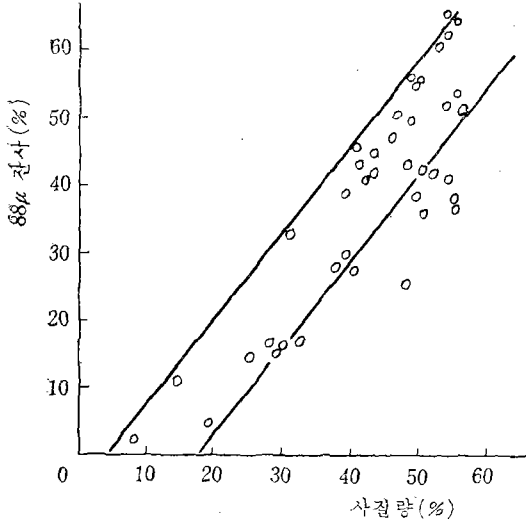
(改造前)

<그림-2>

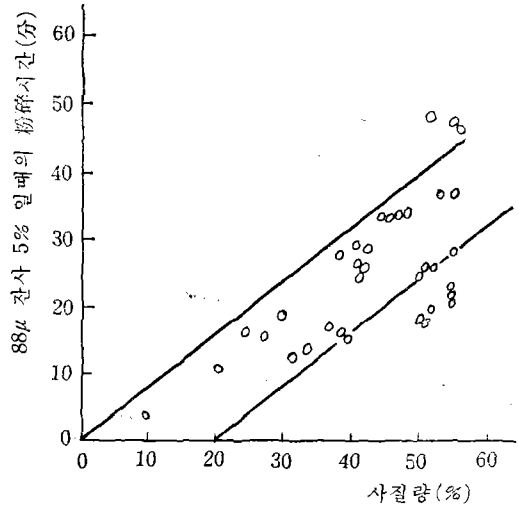


(改造後)

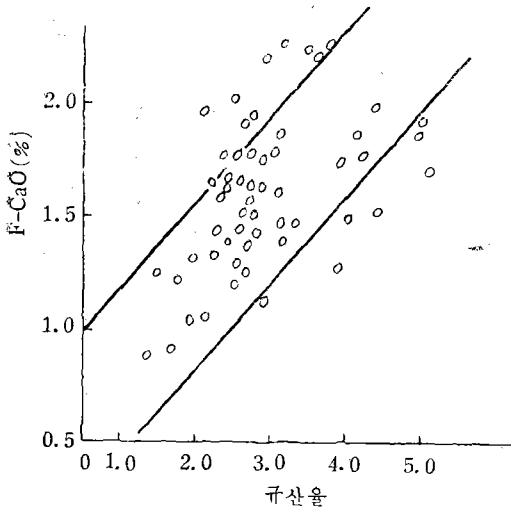
kiln의 原料 供給 장치의 改造



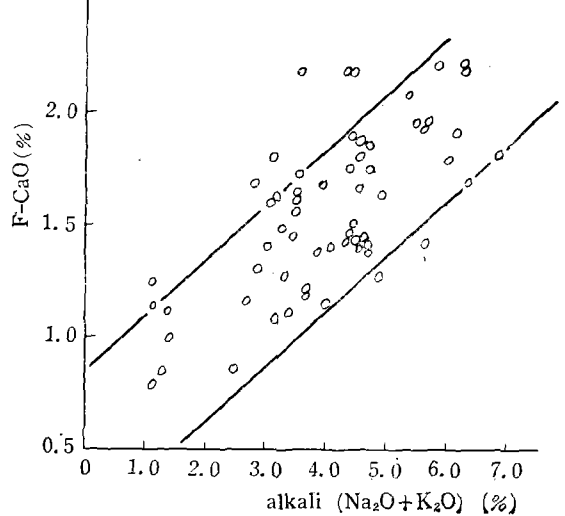
<그림-3> 砂質량과 88μ 잔사량과의 관계



<그림-4> 砂質량과 粉砕時間과의 관계



<그림-5> 규산율과 F-CaO와의 관계



<그림-6> alkali 함량과 F-CaO와의 관계

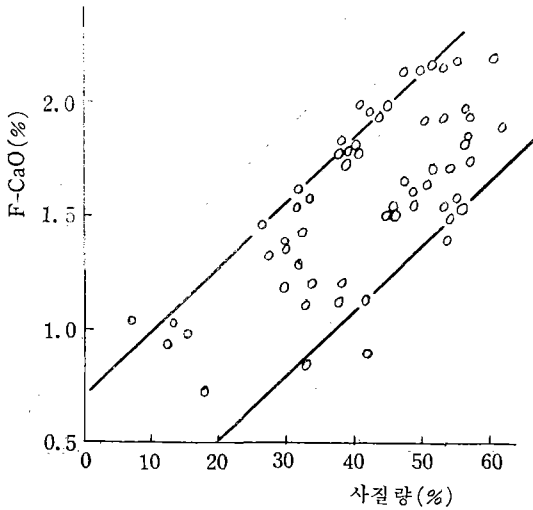
5, 6, 7>에서 알 수 있다. 이는 砂質量이 많은 粘土는 粉砕工程에서 微粉砕되지 않고 粗粒 그대로 남아있기 때문이며 이것이 F-line(F-CaO) 감소에 악영향을 미친다고 예측된다.

粘土 선택 개발을 크링카의 反應度(Burnability)와 品質과 관련하여 추진하거나 이를 粘土 선택의 키 포인트로 간주하기 시작한 것은 1970년 이후의 일로 볼 수 있으며 그것도 극소수 회사의 극소수의 실무진 선이 아닌가 보아(?) 보다 고위층의 인식이 아쉽다고 본다.

2) 工程관리의 발자취

—原料調整(Row mix Control)—

「原料成分의 균일」項에서 언급한 바와 같이 分析結果를 현장으로 Feed back 시키기 이전에 채취한 시료가 그 母集團을 대표할 수 있느냐 없느냐가 중요하다. 이는 통계적 수법 혹은 기타의 方法을 응용하여 별도로 檢討해 볼 必要가 있다. 따라서 최근에는 시멘트工業에서도 自動시료 채취기(Auto-Sampler)가 全工程에 채택 應用되고 있는 실정이며 分析方法 역시 原料 各成分을 신



<그림-7> alkali와 F-CaO와의 관계

속하게 分析하여 Modulus를 관리항목(Control item)으로 조정하고 있는 경향이다.

즉 지금까지는 산-알카리 간이 分析方法(total carbonate titration)으로 원료중의 CaCO₃ 함량

만 測定하여 현장으로 Feed back시켜 왔었으나 <표-4>에서 알 수 있는 바와 같이 T.C가 일정함에도 성분 및 Modulus는 차이가 나는 수가 많다. 따라서 原料 全 성분을 신속하게 分析하는 방법이 研究 개발되고 있으며 형광 X-Ray 分析 장치가 각광을 받고 있다. 예로서 L.S.F를 콘트롤 기준 항목으로 한 X-Ray 分析장치에 의한 콘트롤 예를 <표-5>에 나타내었다.

이외에도 석회석 粘土 철광석의 배합비 자동조절시스템(Ratio control system)을 채택하기도 하며 Feed back을 위한 原料 배합비와 성분의 相關關係를 검토하여 도표화 해두면 원료조정상 편리할 때가 많다. 참고로 粘土, 모래 배합비에 따른 Modulus의 변화 정도에 대한 예를 <그림-8>에 나타내었다.

이상의 「Sampling 방법의 合理化와 X-Ray 分析장치의 利用」 「Feed back을 위한 원료 배합비와 Modulus의 상관관계」 「기여도의 分析」 「배합비 자동조절 시스템」 등을 연구 검토하여 실제 工程에 적용한 것은 최근의 일이라 할 수

<표-4> T.C와 Modulus간의 차이

T. C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	LSF	SM	IM
74.76	13.8	3.7	2.4	43.0	96.9	2.26	1.54
74.76	13.9	3.8	2.4	43.3	96.7	2.24	1.58
74.76	14.0	3.7	2.3	43.1	96.0	2.33	1.61
74.76	14.1	3.7	2.4	43.2	95.5	2.31	1.54
74.76	14.0	3.7	2.4	42.9	95.4	2.30	1.54
74.31	13.8	3.6	2.3	42.8	96.5	2.26	1.44
74.55	13.9	3.6	2.4	43.0	96.5	2.32	1.50
74.91	13.9	3.6	2.3	43.2	96.5	2.37	1.57

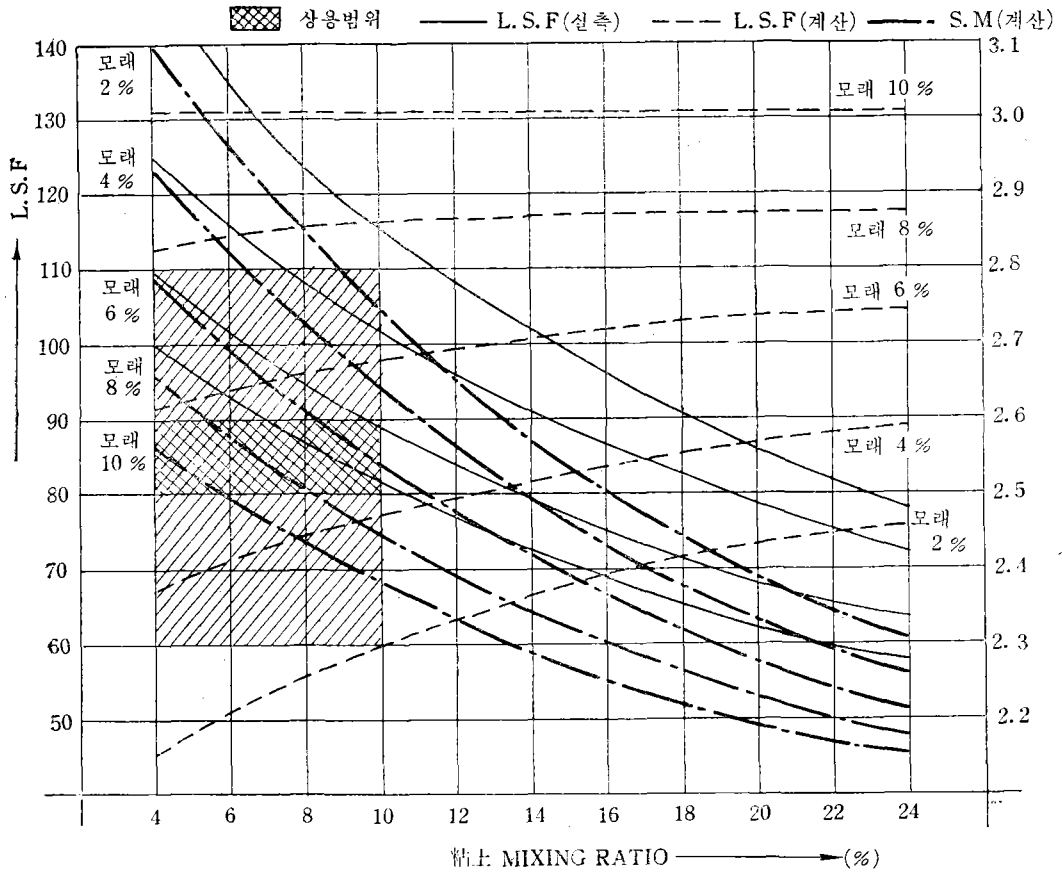
<표-5> X-Ray 分析장치에 의한 콘트롤 예

시 간	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	L S F		S	M	I	M	F/P
					LSF	ΣΔ	SM	ΣΔ	IM	ΣΔ	
10.00	13.8	3.5	2.3	43.2	98.0	1.5	2.38	0.08	1.52	-0.03	5/5
11.00	13.8	3.5	2.3	43.2	98.0	1.5	2.38	0.08	1.52	-0.03	5/5
12.00	14.0	3.6	2.3	42.9	95.8	0.8	2.37	0.08	1.57	-0.01	5/5
13.00	14.3	3.6	2.3	42.8	93.8	-0.1	2.42	0.06	1.57	-0.01	5/5
14.00	13.9	3.6	2.4	43.5	97.9	0.2	2.36	0.06	1.46	-0.02	5/5

*1) L. S. F Control point, 96.5±0.5.

*2) F/P : 生産量에 따른 책타

*3) 혼합후 분석 결과; SiO₂ 13.9, Al₂O₃ 3.6, Fe₂O₃ 2.3, CaO 43.0, LSF 96.7, SM 2.36, IM 1.57



<그림-8>

粘土 모래 MIXING RATIO 에 따른 MODULUS 變化

있으며(1970년 이후), 이 「Raw mix control」은 각 工場에서 자기의 실정에 알맞는 자기의 것으로 開發해야 한다는 點이 가장 중요하다고 하겠다.

—粉碎工程의 자동화—

閉回路 밀(Closed Circuit Mill)에서의 粉碎量과 분쇄물의 입도는 순환율과 밀접한 관계를 갖고 있으며 粉碎量은 Mill 자체의 분쇄효과와 선분기에서의 분리효과와 관련하여 고찰해야 한다.

따라서 粉碎物의 배합비의 자동조정 및 均一성과 순환량의 균일은 兩工程(粉碎와 分離)을 安定시킬 뿐 아니라 效率이 상승한다는 이론 하에 粉碎工程에서의 Ratio Control System과 Bucket

Elevator 동력에 의한 供給量 조절 System을 우리나라에서도 도입 개발하였다(1970년).

한편 최근 신설되는 밀에서는 Electric Ear에 의한 自動化도 채택되고 있다.

물론 이러한 몇가지 自動化도 工程 자체의 現象分析, 조건의 最適化 실험 연구가 수반되어 자기 고유의 방법을 연구하지 않으면 효과를 얻을 수 없다는 사실도 지적해 둔다.

한편 원료 조정의 自動化에 있어서는 아직까지 우리나라는 導入되고 있지 않으나 독일, 미국, 일본 등지에서는 On-Line X線 Counta Meter Analyser와 같은 裝置를 이용하여 조합 원료를 자동적으로 신속, 정확히 分析하여 그 成分變動

을 정확히 캐치하며 이 정보를 電算機 등에 의해 신속히 처리하여 성분변동의 安定化를 기하고 製品 品質의 향상, 성분 Control의 無人化를 기하고 있다.

이제 우리나라도 시멘트 생산 및 수출국으로 基盤을 닦아가고 있는 과정이므로 보다 나은 品質향상을 위해서는 머지 않은 將來에 이와 같은 System이 導入되어야 한다고 생각한다.

—粉砕工程의 변천—

시멘트 공장 管理에서 粉砕工程은 원가관리(원가 구성비상 상위), 제품, 또는 원료의 품질관리 면에서 중요시하여 관리해야 한다. 특히 動力消耗量의 80% 정도가 粉砕에 소모되고 있는 점을 고려하여 단위시간당 粉砕效率을 최대화하기 위한 努力이 장차 메이카는 물론 시멘트 技術者 간에 끊임없이 연구되어 오고 있다. 우리나라에서도 1960년경에는 Steel Ball 만으로 분쇄공정을 개선하려고 노력해 왔으나 1965년경부터는 순환율(Circulating Load) 管理에 관심을 갖고 Air Balance, Material Balance 등을 조사하여 상당한 技術的 發展을 가져왔다. 이와 併行하여 Mill系에서만 관리할 것이 아니라 皮분쇄물의 粒度를 집중적으로 관리하여 큰 效果를 거두고 있다. 電力節減 및 분쇄능을 向上을 위해서는 皮분쇄물의 粒度를 적게 하는 방향이 더 효과적이라는 것을 깨달은 후 많은 시멘트工場이 크랏샤를 增設하거나 改造하여 큰 성과를 가져오고 있다. 1970년 이후에는 순환율과 병행하여 Mill內의 분쇄물의 進行(Liner Slot 開孔 등), 분쇄에서 발생하는 熱, 이로 인한 Ball의 Coating 문제등 시야가 훨씬 넓어지고 있다. 한편 분쇄공정의 自動化和 분쇄조재의 混用은 큰 성과를 보기 시작하였다.

4. 시멘트 燒成設備의 發達

4-1 Cement kiln의 發達

1824년 英國에서 처음으로 포트랜드 시멘트가 소개된 후 1850~1860年代에 와서 프랑스, 독일, 미국, 소련 등에서 시멘트 프랜트를 建設하여 생산을 시작하였다. 초기의 시멘트 製造方式은 매우 舊式의 Shaft kiln이었으나 그 당시로서는 連續生産이라는데 처음으로 큰 의의를 갖고 있

다. 특히 독일 시멘트 工業의 창시자인 휴고 델브룩크가 스테틴 부근의 쾰코브공장에서 良質의 시멘트를 製造하는데 성공하여 1862년 세계 박람회에서 독일 시멘트의 優秀性을 인정받았으며 오스트리아, 헝가리, 스위스, 미국 등에 수출하게 되었다.

시멘트 燒成 kiln은 계속 발달하여 回轉爐(Rotary kiln)로 바뀌어 졌으며 이와같은 回轉爐도 Boiler가 연결된 건식 kiln과 半乾式의 Lepol kiln(1929년 Lellep氏 발명) 및 습식 Long kiln의 여러 形態로 발전되었다. 여기서 Lepol kiln은 熱經濟의 면에서 우수한 편이나 원료 成球의 정도 등 기술적인 문제 때문에 使用原料(특히 점토)에 제한을 받고 대형 Lepol Grate의 設計時 몇가지 기계적인 문제점이 대두되고 있다. 한편 濕式 Long kiln은 구조가 간단하고 운전이 용이하지만 熱消耗량이 크고 假燒量에 비해서 kiln 自體가 너무 큰 결점을 갖고 있다.

이와 같은 缺點들이 Lepol kiln이나 습식 kiln의 시멘트 生産效率에 결정적인 치명상이 되고 있다. 한편 장치비가 적게 들고 열소모량이 적은 shaft kiln에서는 假燒效率을 높이기 위하여 Quick Lime Calcination 방법이 고안되어 「개량가소법」이라고 命名되었으나 이들 方法은 生産能力이 빈약하고 品質이 낮으며 열소모량이 많아 일반화되지 못했으며 규모도 확장시킬 수 없었다.

우리나라의 경우는 시멘트가 發明된지 100여년 후인 1919년 日本 小野田시멘트에 의해서 平壤 승호리에 年産 18만톤 규모의 키른이 처음으로 선을 보였으며 南韓에서는 1942년 三陟에 8만 4천톤 규모의 Lepol kiln이 처음 소개되었고 현재도 稼動되고 있다. 시멘트 燒成 設備의 발달은 제 1 단계의 shaft kiln에서 제 2 단계의 Boiler 付乾式 kiln, 濕式 Long kiln, Lepol kiln으로 發達되었으며 제 3 단계로 Suspension Preheater kiln이 출현되었다. 즉 1951년 西獨의 Humboldt社가 처음으로 Suspension Preheater를 開發하여 Pilot Plant가 完成된 후 현재까지 580餘基 이상의 建設實績을 올렸으며 1961~1963년에 이르러서는 Pplysius社, Krupp社, Wedag社가 각각 독특한 Suspension Preheater를 개발하였다. 따라서 1960년초까지 세계를 석권해오던 Lepol

<表-6>

SP 키른의 分類

(1972年 1月 現在)

프레히터의型	出荷開始年	燒成帶直徑(m)										計	
		不明	2.01 2.50	2.51 3.00	3.01 3.50	3.51 4.00	4.01 4.50	4.51 5.00	5.01 5.50	5.51 6.00	6.01 6.50		
Humboldt 特約會社： 石川島播磨重工 Fuller	1950—59		5	17	28	9							59
	1960—64			14	16	33	5	2					70
	1965—69			2	11	38	35	12	6	2			106
	1970—71			2	6	9	7	7	3				34
	計			5	35	61	89	47	21	9	2		269
Polysius (三菱重工業)	1958—59		1										1
	1960—64			1	3	11	11	3	2				31
	1965—69			1	10	26	20	8	13	6			84
	1970—71			2	4	3	5	6	5	1			26
	計			1	4	17	40	36	17	20	7		142
F. L Smidth & Co.	4段 1966—69					3	1	5					9
	1970					2	5	1	3	5			16
	1~2段 1962—65			2	1	3	2	1					9
	1966—69		1	5	3	8	5	9	2	1			34
	1970—		1	1	5	1			1	1			10
計			2	8	9	17	13	16	6	7		78	
WEDAG (川崎重工業)	1961			1									1
	1965—69		1	5	2	14	3	2		1			28
	1970—				1	8	1			2	1		13
	計			1	6	2	22	4	2		3	1	42
KRÜPP (Polysius)	1954—71	Chem Ind. 7	1	4	13	5	3						33
SFAC (Creusot-Loire) (三井造船)	1967—69					1	1						2
	1970—71						3	1					4
	計					1	4	1					6
MIAG (Allischalmers) (神戸製鋼所)	1966—69			1		1							2
	1970—71					1	1	1					3
	計			1		2	1	1					5
Fives Lillet	1971						2	1		1			4
Prerov. S (住友重機械工業)					1			1					2
SKET (Dessau)	1968		1										1
總計			8	10	58	104	176	110	60	35	20	1	582

식은 그 위세가 차츰 저하되어 현재 새로 건설되는 프렌트는 거의가 이와같은 SP를 채택하고 있다.

한편 일본의 경우는 1962년 서독으로부터 도입된 SP kiln의 우수한 熱經濟와 큰 생산능력,

운전 및 品質의 安定性, 확장 容易 등으로 많은 관심을 불러 일으켰으며 그후 점차적으로 SP kiln이 새로 建設되거나 낡은 工場이 SP kiln으로 代置되었다. 우리나라는 1964년 쌍용양회에서 영월에 年產 20만톤 규모의 SP kiln 2기를

서독의 Humboldt 社로부터 導入한 것을 시초로 그후 增設 또는 新設하는 공장에서는 거의가 이와 같은 現代式 SP kiln 을 채택하고 있다.

특히 일본의 시멘트 製造技術은 외국기술을 導入 發展시켰음은 물론 스스로 기술을 開發하는데 큰 實績을 견우었다. 일반 산업기계에서와 마찬가지로 1950年代 시멘트 製造設備를 전반적으로 生産하기 시작한 일본은 끊임 없이 진보하는 시멘트工業의 發展에 步調를 맞추어 열경제가 우수하고 生産능력이 큰 맘모스 키른(직경 5m 이상)의 開發에 수훈을 세웠다. 1972년에 이르러서는 Ishikawajima-Harima 重工業과 Chichibu Cement Co. 의 공동으로 새로운 소성방식인 S.F 燒成裝置를 開發하였으며 한편 Mitsubishi 중공업은 Mitsubishi Cement Co. 와 공동으로 M.F.C 燒成裝置를 開發함으로써 시멘트 공업에는 새로운 革新을 일으키고 있으며 따라서 시멘트 製造 형식도 이제 제 4 단계로 접어들고 있다. 이와

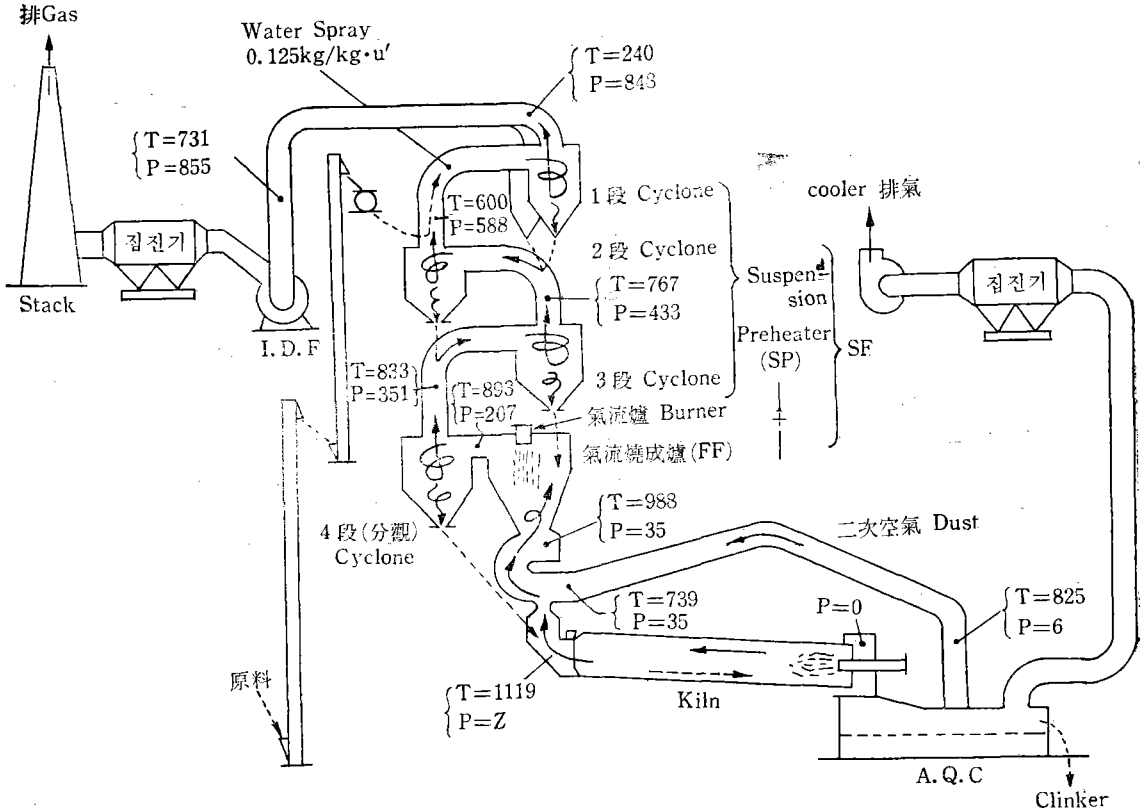
같은 새로운 裝置를 개발하는데는 機械製作會社가 Cement 제조업체의 協調 없이 개발하기 어려운 것이므로 시멘트 제조업체와 밀접하게 協力하거나 외국의 새로운 技術을 도입한다는 것은 대단히 중요한 사실이다.

4.2 새로운 시멘트 소성법

최근 일본에서 개발한 新燒成法에 대해서 개략적으로 소개하고자 한다. 본 내용은 1972年 12月 日本의(大阪에서 개최되었음) 제29회 시멘트 製造技術 심포지움에서 발표된 담당 研究陣들이 보고한 내용을 간추린 것이다(S社 기술진 참석 한바 있음).

1) SF 式 Cement 燒成法

SF 式 燒成法이란 보통 Suspension Preheater 와 Rotary kiln 의 중간에 氣流燒成爐 (Flash Furnace)라고 부르는 Burner 가 설치된 특수한 爐를 組立한 장치의 소성법을 말한다. 「SF」는 Suspension Preheater 의 「S」와 Flash Furnace



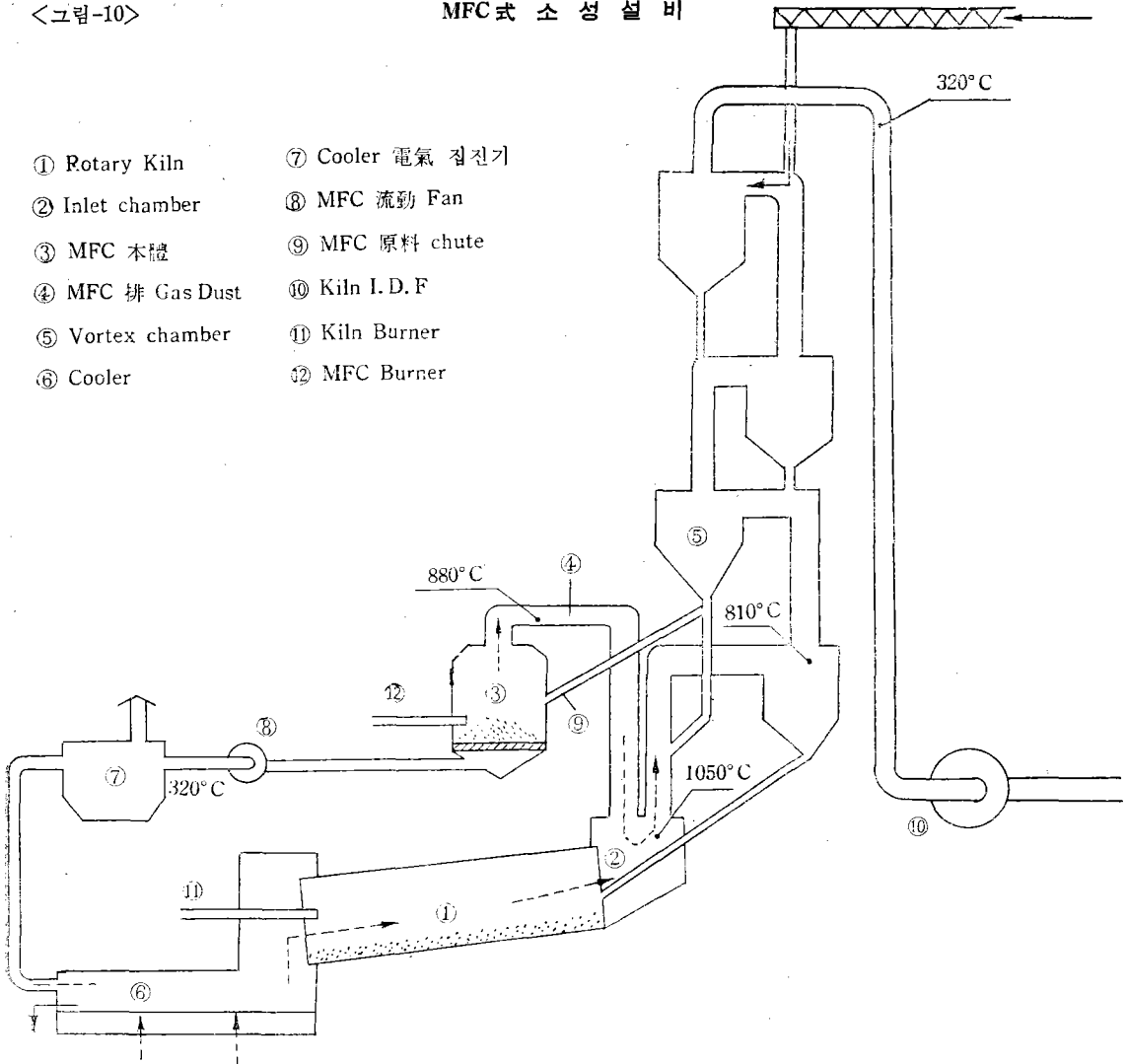
<그림-9>

Rotary kiln with Suspension Preheater and Flash Furnace
SF(氣流爐付 Suspension Preheater) (1972. 7. 5~7. 7 測定值)

<그림-10>

MFC 式 소 성 설 비

- | | |
|------------------|-----------------|
| ① Rotary Kiln | ⑦ Cooler 電氣 集진기 |
| ② Inlet chamber | ⑧ MFC 流動 Fan |
| ③ MFC 本體 | ⑨ MFC 原料 chute |
| ④ MFC 排 Gas Dust | ⑩ Kiln I. D. F |
| ⑤ Vortex chamber | ⑪ Kiln Burner |
| ⑥ Cooler | ⑫ MFC Burner |



의 「F」를 따서 命名한 것이다.

보통 SP kiln 방식에서는 Preheater 에서의 가소율이 40% 정도가 限界이지만 SF kiln 방식에서는 SP 에서 豫熱된 原料를 FF 로 도입하여 여기서 燃料을 분사하여 過流를 발생시키고 이 氣流 중에서 未反應의 原料를 순간적으로 가소시켜 kiln 에 공급함으로써 kiln 內에서는 전혀 가소가 필요 없게 되며 따라서 燒成能力은 2~2.5 倍로 높일 수 있는 새로운 燒成方式이다.

—연구 개발의 경위와 시험장치—

SF 소성방식의 중심부로 되어 있는 氣流爐는 1965년 IHI 기술연구소에서 開發되어 Pilot Plant 로 實驗한 결과 그 실용 가능성이 있으므로 실용

단계에 들어갔으나 ① 爐壁의 코팅 형성 ② 氣流爐 Burner 의 失火 ③ 他 Cyclone 의 Clogging 등의 문제점을 해결할 수가 없었다. 그 후 1968년 Alumina 燒成 Process 에 이 氣流爐를 채용할 기회를 얻었는데 Alumina 소성 반응은 $2 Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$ 로 여기서 발생하는 水蒸氣 때문에 排 Gas 온도가 低下되어 보통 SP 방식으로는 소성이 대단히 곤란하였으나 氣流爐를 附設한 결과 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 여기서 氣流爐는 정식 實用化단계에 들어갔으며 Alumina 소성 plant 에 7基를 付設하였다. Alumina 소성에서는 爐壁의 코팅부착은 전혀 볼 수 없었고 爐의 失火는 아주 드물게 발생되었다.

한편 이것과 병행해서 보통 Cement 소성에 上記의 概念을 적용시키기 위하여 1969년 IHI 橫濱實驗工場에 20 t/D의 Test plant를 건설하였으며 Rotary kiln과 氣流爐를 조합하여 각종 실험을 1969년부터 1971년까지 꾸준히 實施한 결과 실용화 단계에 들어갔다.

1971년 4월 IHI와 Chichibu Cement Co.는 共同 研究契約을 체결하여 Chichibu 第1工場의 3.9φ×51.37m의 kiln에 실험을 實施하게 되었다. 火入은 1971년 11월에 했으며 基礎적인 각종 실험을 거친 후 1972년 7월에 동규모의 보통 SP kiln의 2배 이상인 2000 t/D 이상의 생산능력을 올릴 수 있었으며 燃料도 보통 SP kiln보다 적게 들어가는 효과를 얻었다.

—SF 방식의 특징—

① kiln에 공급되는 原料는 90% 정도 가소되며 Kiln Volume 당 生産量은 SP 방식의 2배 이상 증대된다.

② FF내의 온도분포는 모든 부분이 均一하고 비교적 低溫(780~920°C)을 유지하며 특히 화염에 의한 高溫 부분이 없다. 二次空氣의 酸素 농도는 약 12%로 연소 狀態는 안정되어 있다.

③ kiln 熱負荷의 감소, kiln의 소형화에 의해 耐火煉瓦의 수명은 同能力의 SP kiln에 대해서 2~3 배를 기대할 수 있다.

④ 연료가 적게 들며 運轉이 용이하다.

2) MFC 式 燒成方法

日本の Mitsubishi 重工業과 Mitusbishi Cement Co.가 공동으로 開發한 MFC(Mitsubishi Fluidized Calcinator)는 SP kiln의 Preheater와 kiln의 中間에 별개의 熱源을 갖고 있는 流動層에 의해 가소할 수 있는 장치를 연결한 것으로

로 kiln의 生産能力을 대폭 增大시키는 동시에 장기간 連續 安定運轉을 가능케 하고 耐火物 原單位의 절감 및 빈번한 運休로 야기되는 減産損失, 熱損失, 보수비, NOx 公害 등을 줄이는데 그 목적을 두고 연구 개발한 새로운 시멘트 소성 방식이다.

<그림-10>은 MFC System에서 排 Gas와 原料의 흐름을 나타내고 있다.

MFC에서 가소된 원료는 排 Gas를 따라 kiln End의 Inlet chamber에 들어가게 되며 그곳에서 다시 kiln 排 Gas와 4段 cyclone에 들어가 보다 높은 온도의 排 Gas에 의해 再假燒가 이루어진 후 Gas와 分離되어 kiln에 공급된다. 유동화와 연소에 필요한 공기는 유동 Nozzle을 통하여 유동층에 공급되는데 流動 공기로는 Clinker Cooler의 排 Gas가 회수열로 利用된다. MFC에서는 重油가 유동층에 분사되어 연소되므로 원료는 일정온도에서 효과적으로 假燒된다. MFC 排 Gas는 kiln End의 Inlet chamber에 유도되어 보다 높은 온도인 kiln 排 Gas와 혼합된다.

이 混合 Gas의 溫度는 안전하게 예열기에 공급될 수 있도록 調節해 줄 수 있다.

5. 시멘트 生産技術의 方向

100 억불 輸出, 1,000 불 所得이 눈 앞에 닥친 80年代의 시멘트 生産기술은 어떻게 될 것이고 또 어떻게 되어야 할까? 기술자로서의 意見을 나열만이라도 할까 한다.

「연간 약 2,000 만톤 생산에 1,000 만톤 수출」의 청사진을 가상할 때 비단 生産技術뿐 아니라 모든 管理가 市場中心으로 생각해야 한다고 본다.

다시 말하면 內的으로는 『原價와 品質』 外的으로

<表-7>

自 動 化 의 例

工 程 別	自 動 化	效 果
原料 Storage	Limestone 의 Premiking	① 원료 조성의 용이 ② 品質均一
Mill plant	Mill 의 運轉自動	① 工程의 安定 ② 品質均一 ③ 原料調整容易
Mill plant	原料 Feeding ratio control	① 品質均一 ② 原料調整 容易
Mill part & Blending part	X-Ray Analyser 및 computer 에 依한 on line control	① 工程의 安定 ② 品質均一 ③ 原料調整 容易
kiln-cooler	computer control	① 열경제 ② 工程의 安定

로는 시장 확보(개척, 수요 개발)와 Service 에 초점을 맞추어야 한다고 보고 싶다. 따라서 技術開發과 技術情報의 의존도가 상당한 비중을 차지한다고 느낀다. 이러한 상황에 대처해서 생산 기술 관리의 方向을 제독만이라도 살려본다.

① 생산성 向上

생산성 向上이란 새로운 機械의 개발과 工程의 安定이 병행해야만 쉽게 이루어질 수 있다고 하겠다. 最近 kiln이 大型化되면서부터 발생하는 몇가지 문제점들 때문에 가동율이 低下되어 大型 kiln의 利點을 백분 발휘하지 못하고 있는 형편이다. 이러한 問題를 改善하여 最近 日本에서는 새로이 SF, MFC, RSP 등의 새로운 소성 方法이 개발되었다. 1980 年代의 2,000 萬톤 Cement 생산을 위해서 새로이 建設되는 신규 공장의 경우 이러한 소성 方法을 도입 活用하는 길이 생산성 向上에 크게 보탬이 되리라 믿는다.

② 自動化導入 및 活用

그간의 시멘트 生産工場은 工程의 安定과 生産管理 등을 보다 容易하게 하기 위하여 自動化에 상당한 進前을 보여 왔다. 그러나 우리나라의 工程은 時期的으로 미흡한 데가 없지 않기 때문에 自動化의 개발과 도입 연구가 보다 요구된다.

③ 분쇄工程의 개발 연구

분쇄효율의 向上을 위해서 지금까지 여러 型態의 Mill이 등장하였다. 이러한 특징적인 Mill의 분쇄효율이란 예를 들면 最適 Steel Ball의 配列과 충전비, Mill 계의 最適순환비 決定, Feeding 原料의 size, Mill 内部溫度 自動化에 의한 工程의 安定 등 運轉者 스스로의 最適 運轉조건의 發見과 연구 개발에 의해 決定되는 것이므로 아직도 산재한 분쇄工程의 개발을 위해서 계속적인 연구 개발과 새로운 기술 정보의 입수가 요구된다. 한편 「無鋼球분쇄기」의 도입 응용도 고려할 하만다.

④ 생산기술의 標準化

우리의 시멘트工場은 그 歷史가 짧을 뿐더러 여기서 產出된 技術 역시 체계화되어 정리된 것이 아니라 새로운 工場의 建設時마다 決定된 조건과 資料의 수집에 그친 아직 유년기를 벗어나지 못하고 있는 實情이다. 이러한 우리의 技術을 成年의 cement 韓國으로 다지기 위해서 工程의

最適化에 대한 標準化 및 이 표준에 대한 부단한 개선 연구가 요구되고 있다.

⑤ Service 업무의 強化 및 研究

需要의 개발과 市場의 확보와 유지를 위해서 수요자의 요구에 항상 신속 정확해야 함은 勿論 보다 아쉬운 점은 cement 公業의 專門인 지식을 갖춰 써비스에 任할 수 있도록 多角인 강화와 연구의 실현이 소망스럽다.

⑥ 설비保全의 合理化

장치공업의 원가를 分析하고 보면 가동율의 기여도가 매우 크다. 尙后 人력부족의 측면에서 지금부터 검토되어야 할 問題이다. 이는 作業의 기계화, 장비화(例 측로, 강구충진 등)와도 아울러 생각해야 할 것이다.

⑦ 品質管理과 통계 습관화

實驗室에서의 분석이나 관리도나 그리는 정도의 협의의 品質管理가 아니라 品質管理와 통계적인 지식의 충분한 습득으로 管理를 목적으로 한 品質管理로서 데이터의 수집과 판단, 現場試驗 등이 통계적 기업의 응용으로 습관화되고 몸에 배는 풍토가 요망된다.

⑧ 公害問題

cement 工場의 公害로 되어 있는 dust·소음·진동 등의 公害의 해결을 위해서 기존 工場은 물론 새로이 建設되는 工場에 대해서는 工場의 位置選定에서부터 建物설계 기계장치의 選定에 이르기까지 면밀히 연구·검토되어야 할 것이며 나아가서는 一般 國民·企業家·爲政者 다같이 總合的인 지식과 과학적인 理解로서 公害 問題에 敢然히 도전해야 하겠다.

제목과는 달리 지극히 단편적이고 主觀的인 나열식의 雜文이 되었다. 자료수집의 不充分과 어려움으로 절름발이가 되어 버렸음을 솔직히 自認한다. 그러나 이 끝이 자극이 되어 인젠가는 우리 洋灰業界 전체 기술의 발자취가 客觀的 기록으로 남게 되리라 자위하면서 尙後의 기록을 위한 資料 조사 方向을 제시하고 끝을 맺는다.

① 各工程의 생산능력 증대 현황 ② 技術開發을 위한 人的 투자 현황 ③ 重要 工程 시설의 改造 현황 ④ 自動化 현황 ⑤ 品質관리 현황 ⑥ 稼動率 原單位 현황 ⑦ 技術開發研究의 현황과 계획.