

Wet process 와 Dry process 比較

~ 工場新設을 中心으로 ~

Henning R. Norbom*

李 裕 仁 譯

<雙龍洋灰品質管理課長>

1. 序 言

cement 製造業者가 새로운 kiln 을 建設하기 위한 계획을 잘 때에 제일 먼저 選擇해야 할 것의 하나는 wet process 를 택할 것인가, dry process 를 擇할 것인가 하는 문제이다. 과거 10 年 동안 油類費는 상당히 上昇되었으며 油類費야말로 經濟的 側面의 유일한 比較對象值이다.

濕式 kiln 은 乾式 kiln 보다 상당히 많은 燃料을 消費한다. 반면에 乾式 kiln 은 다른 部分에서 原料를 粉碎하기 이전 또는 粉碎時에 原料를 乾燥하기 위해 부수적으로 燃料을 필요로 한다. 그러나 乾式 kiln 에서 배출되는 gas 를 利用하는 方法이 開發되어서 原料가 6~8% 이하의 水分을 含有하였을 때는 別途의 燃料가 필요없다. 이런 경우 乾式 kiln 을 擇한다는 것은 自明한 일이다. 그러나 乾式을 택하여 좋은 經濟的 效果를 얻으려면 原料의 化學組成 역시 적절해야 한다.

* Assistant vice president, F.L. Smidth & Co., Cresskill, N. J. (From a paper presented at the 1973 I. E. E. Cement Industry Technical Conference, Miami, Fla.)

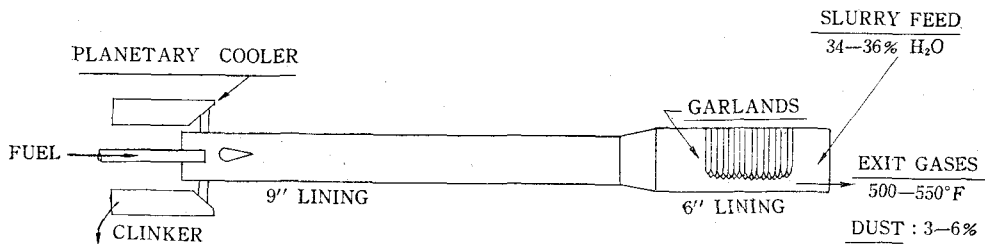
가장 經濟的인 kiln 으로서 chain 이 많은 long dry kiln 이나 suspension preheater kiln 은 alkali 가 문제시 되고 있다.

排氣 gas 로 原料粉碎 mill 에서 原料를 乾燥시킬 때 alkali 는 mill product 에 含有된 채 投入原料와 함께 kiln 으로 들어간다. 原料가 상당량의 水分을 含有하거나 原料의 化學成分이 long dry kiln 이나 4段 suspension preheater kiln 에 適合치 않을 경우 그림과 같은 濕式方法을 그대로 사용하게 된다.

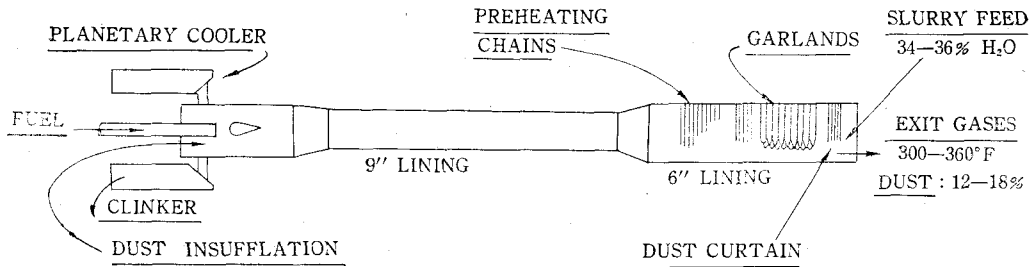
2. 代表的인 濕式 kiln

2-1 nodule kiln

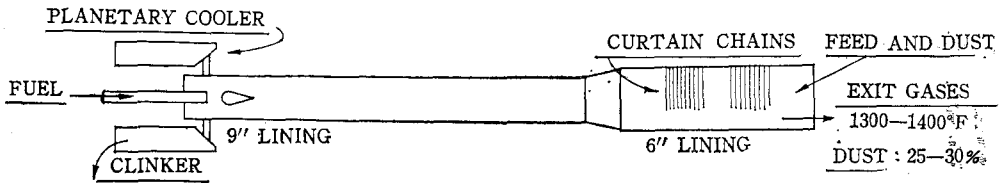
典形的이며 單純한 wet process 인 nodule kiln 을 <Fig-1>에서 보여 주고 있다. 이 kiln 은 設置費는 싸나 熱消耗率이 높다. 內部 熱交換器는 日生産톤當 20 인치나 되는 環型 chain 으로 되어 있다(garland chain system). 각 chain 은 環型 또는 螺旋型으로 양쪽 고리에 걸쳐 있다. 環型 slurry法은 시멘트 原料 chain 乾燥에 매우 적합하며 이 chain 은 粘性을 가진 原料를 이동시켜 주는 역할도 한다. 원료는 chain 을 지날 때 통상 6~8% 의 水分을 含有하고 nodule 모양으로



<Fig-1> Wet process "nodule kiln" (15×16 1/2×520 ft, no insulation); [1, 350tpd (7, 500bpd), 6, 100, 000 net Btu/t (1, 100, 000 net Btu/bbl)]



<Fig-2> Wet process "dust kiln" (15 1/2 × 14 × 16 1/2 × 490 ft, no insulation);
[1, 350tpd (7, 500bpd), 5, 000, 000 net Btu/t (900, 000 net Btu/bbl)]



<Fig-3> Long dry process kiln, fairly high fuel consumption (14 1/2 × 16 1/2 × 480 ft, no insulation);
[1, 350tpd (7, 500bpd), 4, 200, 000 net Btu/t (755, 000 net Btu/bbl)]

되어 지나 간다. 원료가 粉末이 아닌 nodule 로서 kiln 을 통과하므로 kiln 내부에서 粉塵循環과 粉塵의 발생은 적은 편이다.

環型 chain system 은 通路가 넓어서 熱交換面에서는 非合理的이며 alkali 蒸氣와 結晶화된 조그만 alkali 粒子 kiln 을 통해 集塵機로 갈 수 있도록 되어 있다. 그러므로 이 type 의 kiln 은 alkali 減少의 면에서는 좋다. 이 kiln에서 chain 의 수는 많을수록 排氣 gas 의 온도가 떨어지고 따라서 熱消耗量도 적어지지만 kiln 生産物이 chain 部分을 통과할 때 nodule 狀이 될 만큼의 水分을 含有하도록 온도를 낮추어 주어야 한다. 만약 nodule 이 너무 乾燥되면 chain 에 의해 부서져서 粉塵發生이 增加하게 된다.

2-2 dust kiln

여러 곳에 熱交換用 chain 이 설치된 dumbbell 形의 kiln 을 <Fig-2>에서 보여 준다. 이 kiln 은 nodule kiln 보다 設置費는 비싸지만 상당히 熱經濟性이 있다. 여기서 소개한 chain system 은 Europe 의 大 cement 會社에서 開發한 것과 흡사하다.

chain system 은 3 部分으로 나눌 수 있다. 첫째 부분은 kiln inlet 에 조밀하게 매달은 dust curtain 部分이다. 이 部分은 主機能인 集塵機能外에 slurry 를 豫熱해 주는 機能이 있다. 다

음은 nodule kiln 에서 設明한 것과 같은 garland chain (環型 chain) 部分이다. 이 部分에서 대부분 乾燥가 된다. 마지막으로 熱效率을 最高度로 발휘하도록 많은 chain 을 垂直으로 매달은 豫熱部分이다. 이 부분에 설치된 대부분의 chain 은 耐熱鋼으로 되어 있다. chain 의 總量은 clinker 日生産톤當 32 ft 程度이다. dust curtain 部分과 豫熱部分에 chain 의 密度가 높으면 dust 의 순환율이 커지고 alkali 가 모두 포집되는 결과가 된다. 그러므로 이런 kiln 은 alkali 減少에 制限을 받게 된다.

nodule 이 garland 部分을 지나고, 豫熱部分에서 어느 정도 부서져서 dust 를 많이 飛散시킨다. kiln inlet 의 dust curtain 部分에서도 dust 飛散은 投入原料의 12~18%나 된다.

dust 가 많이 發生되면 效率的인 dust 回收方法을 kiln 에 적용하지 않을 수 없다. dust 는 chain 下部에 위치한 dust scoop 裝置로 回收되며 이런 type 의 kiln 은 상당히 넓은 燒成帶가 필요하다.

2-3 semi-dry process kiln

cement 生産者는 Lepol kiln 과 같은 半乾式 kiln 을 願할지도 모른다. 설명은 省略했지만 이 kiln 은 grate type 의 preheater 를 갖고 있으며 熱效率이 좋아서 燃料消耗가 거의 dry kiln

에 가깝다. 그러나 Lepol kiln의 排氣 gas는 低溫이라서 原料를 乾燥시키는데 충분치 못하다.

Lepol kiln에는 약간의 水分을 함유한 nodule을 投入하도록 되어 있으며 nodule은 grate를 通過할 때까지 서로 엉키거나 부서져서 가루가 되지 않을 만큼 충분한 強度가 있어야 한다. 단단한 nodule을 만들기 위해서는 特殊原料나 添加劑가 필요하다. 단단한 nodule과 최소의 原料粉末로 kiln이 稼動될 때 Lepol kiln은 alkali를 감소시킬 수 있는 가능성이 크다. Lepol kiln은 移動하는 grate와 움직이는 부분을 많이 갖고 있어서 本文에서 다루는 kiln보다 매우 복잡하다. 經濟的 비교를 할 때 動力費 및 補修費는 물론 nodule 生産費가 계산되어야 한다.

3. 代表的인 乾式 kiln

3-1 long dry kiln

<Fig-3>에서 燃料費는 높지만 어느 정도 alkali를 감소시킬 수 있는 long dry kiln을 설명하고 있다. 同 kiln은 日生産 clinker 噸當 22 ft의 chain이 모두 수직으로 걸려 있으며 이들의 材質은 耐熱鋼으로 되어 있다. chain은 均一한 密度로 두 group으로 구분되어 있다. <Fig-4>에서 설명한 kiln은 熱消耗가 적도록 設計한 kiln이며 同 kiln의 chain數는 <Fig-3>의 kiln의 約 倍가 되고 chain은 3 group으로 密度도 다르게 設置되어 있다. chain을 이렇게 配列함으로써 熱效率을 높이고 可能한 限 dust의 發散을 抑制해 주고 있다. 약 60%의 chain은 耐熱鋼으로 되어 있다.

long dry kiln에서 줄일 수 있는 alkali量은 chain의 數와 密度에 관계가 있다. 高度의 經濟性이 있는 long dry kiln은 alkali 減少率이 극히 적다. 주어진 조건에서 最大量의 chain을 設置하려고 할 때에도 alkali 감소량 때문에 제한

을 받는다. long dry kiln은 chain의 數를 줄여서 운전해도 되며 후에 最適運轉條件을 찾아서 chain數를 추가할 수도 있다. 이 kiln에서 발생하는 dust量은 대단히 많으며 dust 中에 alkali의 濃縮은 적다. 동시에 alkali를 줄이기 위하여 많은 量의 dust를 버려야 한다. 반면에 회수되는 dust는 새 原料와 함께 쉽게 kiln에 投入될 수 있다.

3-2 suspension preheater kiln

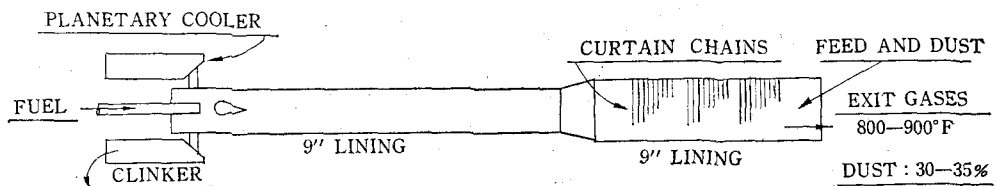
cyclone이 設置된 SP kiln은 다음과 같다. cyclone은 普通 1단, 2단 또는 4단으로 되어 있으며 kiln의 크기에 따라 1列, 2列 또는 4列로 되어 있다.

SP type에서는 高溫 gas와 gas 中에 流動되는 原料間의 熱交換을 빠르게 하며 매우 효율적이다. 4단 cyclone SP kiln의 경우 原料의 residence 時間은 1분도 안된다.

cyclone附 preheater kiln은 熱經濟性이 우수할 뿐 아니라 濕式이나 long dry kiln보다 費用이 적게 먹힌다. alkali 감소면에서는 1단 preheater kiln이 long dry kiln보다 못하다. 2단 및 by pass 施設을 갖고 있지 않은 4단 preheater kiln은 감소시킬 수 있는 alkali의 量이 극히 적다. 이것이 北美에서 cyclone附 preheater kiln이 환영받지 못하는 理由로서 이 문제에 대해서는 本文에서 나중에 더 자세히 다루고자 한다.

3-3 one stage cyclone preheater kiln

<Fig-5>에서 설명했듯이 kiln 入口는 넓고 經濟性 있는 long dry kiln과 흡사하게 chain이 設置되었다. long dry kiln의 長點의 하나는 同一量의 chain이나 少量의 chain을 設置했더라도 우수한 熱經濟를 달성할 수 있다. 1단 cyclone kiln 역시 kiln에서는 dust 飛散을 상



<Fig-4> Long dry process kiln, low fuel consumption (14×16 1/2×480 ft, insulated lining); [1, 350tpd (7, 500bpd), 3, 400, 000 net Btu/t (610, 000 net Btu/bbl)]

당량 줄일 수 있으며 이 kiln 은 long dry kiln 으로서 바꾸어 가동할 수 있다.

즉 原料를 投入할 때는 kiln 의 적당한 곳으로 直接 投入하고 cyclone 은 集塵 장치의 역할만 한다. 이러한 방법으로 운전하게 되면 필요할 때면 수시로 low alkali cement 를 생산할 수 있다. 1 단 cyclone kiln 은 熱經濟를 개선하고 dust 飛散을 줄이는 long dry kiln 으로 전환할 수 있다.

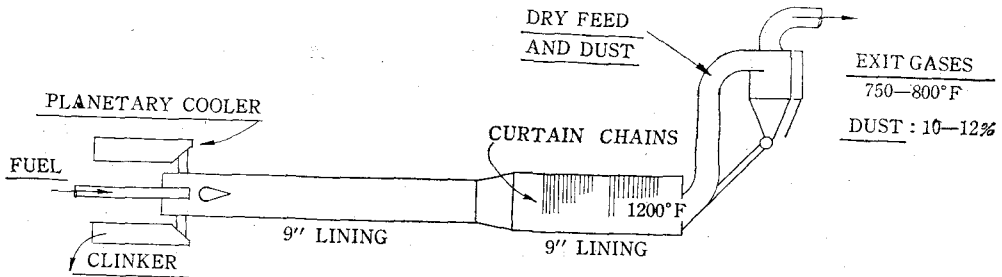
3-3 two-stage cyclone preheater kiln

이 kiln 은 全直徑이 동일하며 耐熱 垂直 chain 을 少量 設置하고 있거나 또는 chain 이 전혀 없다. 이 kiln 은 long dry kiln 보다 약간 짧으며 費用도 적게 든다. 이 kiln 은 질층식으로서 long dry kiln 이나 4 단 cyclone kiln 보다 널리 사용되고 있지는 않다. 2 段 cyclone 附 kiln 은 때때로 既存 short dry kiln 에 적용할 수 있다.

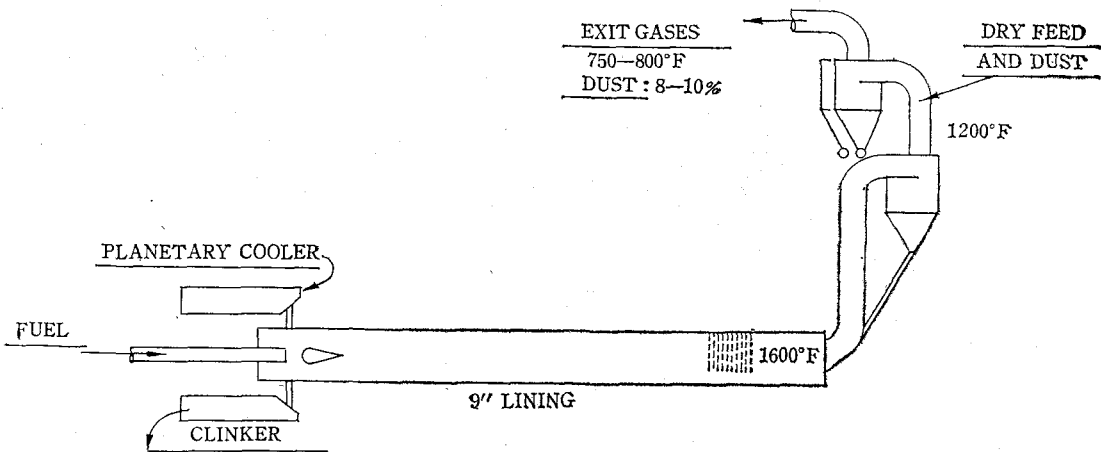
4 단 cyclone kiln 은 低廉한 設置費와 優秀한 熱經濟 등 많은 利點을 갖고 있으나 gas handling 에 약간의 動力이 소요된다. 많은 량의 alkali 를 줄이고자 할 때는 2 단 cyclone kiln 은 적합치 않다. 다음에 本文의 4 단 cyclone kiln 에서 거론한 kiln 入口 끝에서의 by-pass 는 약간의 效果가 있을 뿐이다. kiln 과 cyclone 간의 dust 순환율은 매우 높다. 溫度와 蒸發된 alkali 濃度는 4 단 cyclone preheater kiln 의 inlet 에서 보다 적다. 4 단 cyclone 에서와 같이 原料의 부착과 막히는 문제는 2 단 preheater kiln 에서는 심각하지 않다. 따라서 投入原料中 鹽化物은 4 단 kiln 의 許容量보다 많은 量을 含有해도 된다.

3-4 four stage cyclone preheater kiln

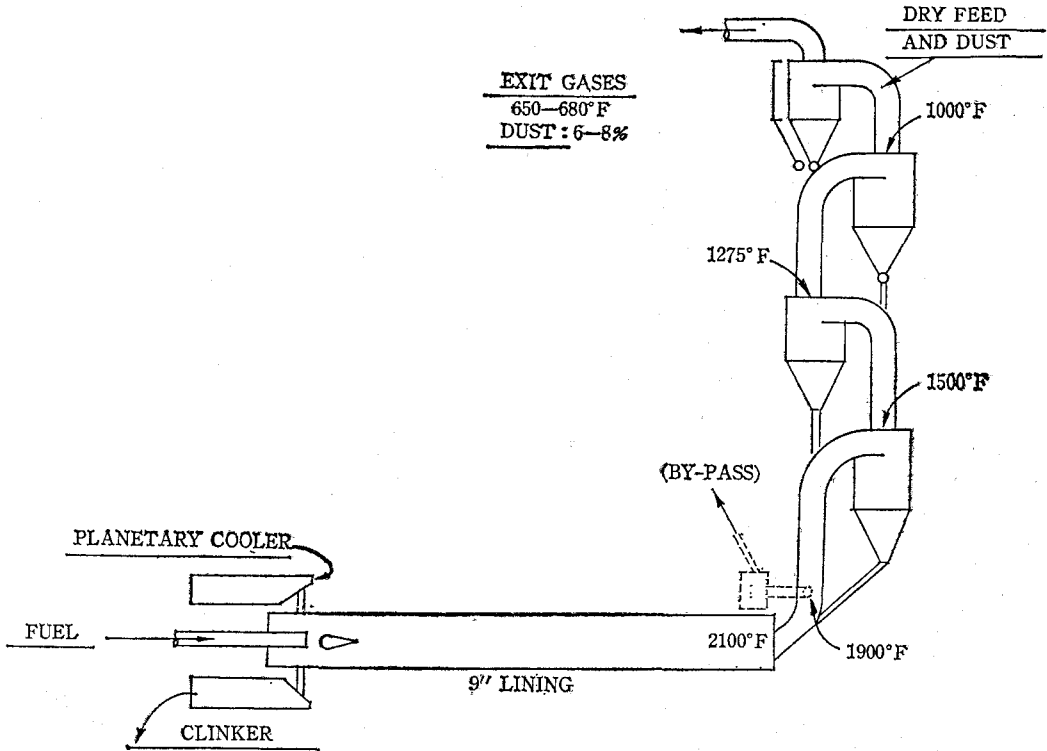
이 kiln 은 <Fig-7> 에서 설명되고 있다. 同 kiln 은 long dry kiln 보다 半 이상 짧고 全直徑은 同—하며 내부 장치가 없다. 4 단 cyclone



<Fig-5> One-stage preheater kiln, cyclones : 2 @ 12 1/2 ft (14 × 16 1/2 × 450ft, insulated lining); [1, 350tpd (7, 500bpd), 3, 300, 000Btu/t (595, 000 net Btu/bbl)]



<Fig-6> Two-stage preheater kiln, upper cyclones : 2 @ 12 1/2 ft, lower cyclones : 1 @ 19ft (14 × 400ft, insulated lining); [1, 350tpd (7, 500bpd), 3, 200, 000 net Btu/t (575, 000 net Btu/bbl)]



<Fig-7> Four-stage preheater kiln, upper cyclones : 2 @ 12½ ft, lower cyclones : 3 @ 19 ft (14×210 ft, insulated lining); [1, 350 tpd (7, 500 bpd), 2, 800, 000 net Btu/t (505, 000 net Btu/bbl)]

kiln은 原料를 高溫 gas로 부유시켜 최고의 효율로 최대의 熱傳導가 일어난다. 이러한 이유 때문에 4단 cyclone kiln은 熱消耗가 적다. 燃料費 上昇이 cement 製造業者에게 중요한 문제로 등장하고 있는 이때 同 kiln이 多年間 유럽이나 기타 世界 도처에서 매우 성공적으로 이용되어 왔다.

4단 preheater kiln이 15~20年前에 北美에 소개되었을 때 preheater 内部에 coating 生成과 clogging 現狀 때문에 성공하지 못했다. 北美에서 특별히 문제된 것은 alkali로 인한 preheater의 機能 마비였다. 原料가 아주 우수하지 않은 限 低 alkali cement를 생산할 수 없었다. 北美市場은 low alkali cement를 요구하고 있기 때문에 이 kiln의 設置가 뒤늦었다.

preheater에 coating이 생기고 막히는 원인에 대해서는 近來에 많이 밝혀졌으며 또 이 문제를 해결하는 방법과 장비가 개선되어 low alkali cement 生産도 가능하게 되었다. 附言해서

4단 preheater kiln은 燃料費가 低廉할 뿐 아니라 施設費도 低廉하다. 이 점이 다른 type의 kiln보다 優秀한 點이다.

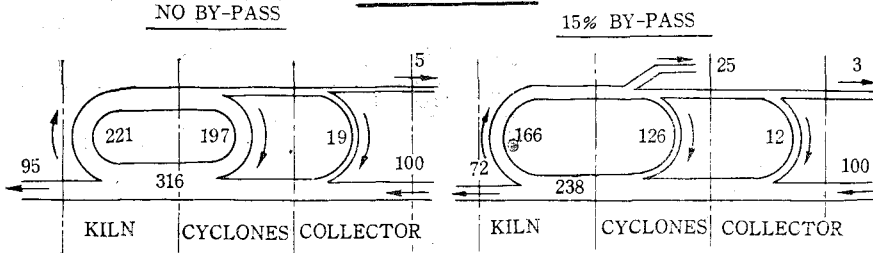
4. 4段 preheater kiln의 適用

4-1 alkali, sulfur, chloride 循環

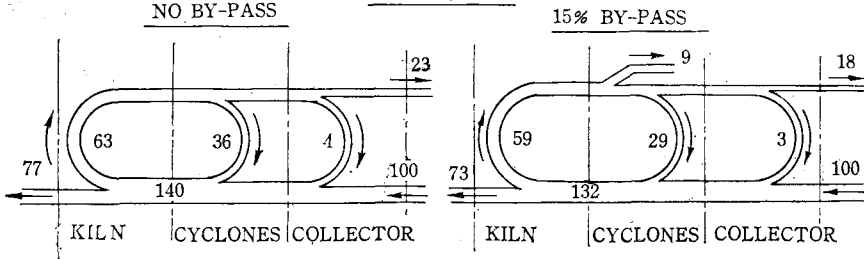
投入原料는 가리, 소다, 유황 및 鹽素分을 얼마간 含有하고 있으며 同成分들은 kiln의 燒成帶에서 부분적으로 휘발된다. 휘발된 化合物은 gas 상태로 kiln 内部를 순환하다가 低溫部에 도달하게 되면 응축 固化된다. kiln에서부터 gas 상태로 흘러 나오는 alkali 化合物은 低溫의 kiln 投入原料와 反對方向으로 흐르기 때문에 4단 preheater 内部에서 完全히 混合된다. alkali 化合物投入原料와 함께 kiln으로 되돌아 오게 되며 dust로 되돌아 간다. 이와 같이 4단 cyclone kiln에서 alkali 감소는 극소량밖에 이루어지지 않는다.

응축된 化合物은 소성대로 되돌아가게 되며 거

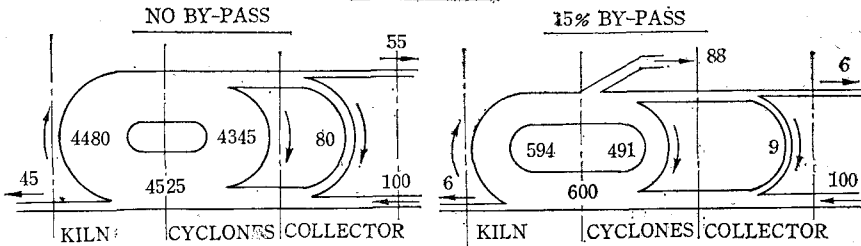
K₂O CYCLES



Na₂O CYCLES



Cl CYCLES



<Fig-8> Four-stage preheater kiln—alkali and chloride cycles

기서 일부는 다시 蒸發한다. 投入原料가 dust 로 되돌아 가는 量이 clinker 로 되어 나가는 量과 waste gas 및 waste dust 量과 同一할 때 평형이 이루어진다. <Fig-8>의 diagram 은 가리, 소다 및 鹽素의 대표적인 循環 상태를 나타내는 것으로서 kiln 의 여러 지점에서의 量도 표시하였다. 어떤 경우에도 kiln 入口 끝에서 量이 상당히 많고 그 中에도 chloride 의 순환이 가장 높다.

4-2 coating 形成 및 cyclone clogging 問題

高濃度の alkali, 鹽素 및 硫黃의 化合物은 No. 4 cyclone 의 하부에서 運轉上 問題點을 誘發시키는 것으로 나타나며 同化合物의 蒸氣는 固體 粒子로 凝縮되어 preheater 의 内部壁과 cyclone 内部에 融着하는 경향이 있다. coating 形成은

gas 흐름의 方向轉換이 있는 곳에서 일어난다. coating 의 大部分은 주로 염소, 가리, 소다로 되어 있다. 鹽素는 熔融點이 낮아서 preheater 의 低部에 液體狀態 또는 粘液狀態로 존재한다. 供給原料中에 鹽素의 含量이 높으면 preheater 에 coating 生成을 촉진한다.

이러한 문제를 피하기 위해 kiln 投入原料中에 鹽素含量을 어떤 限界以下로 유지시켜야 한다. 투입 원료 中에 鹽素含量制限基準值를 정확히 결정할 수는 없지만 경험적으로 raw mix 中에 鹽素가 0.015% 이상 許容되어서는 안된다는 것이 지배적이다. coating 形成의 그 밖의 원인은 過剩의 硫黃과 alkali 가 원인이 된다. 燒成中에 生成되는 sulfate preheater 는 鹽素보다 熔融點이 높다. 高溫에서 固化될 때 이것은 거의

존재하지 않으며 preheater 에서는 문제를 야기시키지 않으나 coating 에서 문제를 야기시키는 경향이 있다.

過剩의 硫黃분이 존재할 때 硫黃은 칼슘과 결합하여 硫化物을 形成, coating이 된다. coating이 初期에는 부드러워서 제거하기가 쉬우나 시간이 지나면 硫化物은 단단해지며 제거하기가 어려워진다. 특히 鹽素가 존재할 때 더욱 단단해지는 것을 觀察할 수 있다.

硫化物에 의한 coating을 피하기 위한 또 다른 방법은 alkali에 대한 硫黃의 分子比가 1.0을 초과하지 않아야 한다. 이 比를 計算할 때는 kiln 投入原料와 燃料中の 全 SO_3 를 대입해야 한다.

kiln gas로 kiln系를 나가는 alkali를 計算하기 위해서는 Na_2O 의 약 50%만 alkali로 대입하고 K_2O 는 100%를 대입한다.

cyclone이 막히는 것은 4段 preheater의 또 다른 特性 문제다. cyclone이 막히는 것은 原料의 흐름이 나빠질 때 일어난다. 즉 cyclone 低部에서 coating 형성에 충분할 정도의 粘性이 있을 때 일어난다. 投入原料中에 alkali 含量이 높고 硫黃含量이 적을 때 이러한 현상이 관찰되었다. 이렇게 되면 蒸發이 많아져서 alkali가 濃縮되고 preheater 內部の 粘性을 촉진시키며 原料의 흐름이 감소된다.

이렇게 cyclone이 막히는 것을 극복하기 위하여 調合原料中에 石膏를 첨가하여 硫黃分을 증가시킨다. 그 결과 alkali의 揮發을 감소시키며 많은 量의 alkali가 硫化物로 결합되어 preheater의 粘性을 감소시킨다. 石膏를 添加시킬 때 硫黃對 alkali의 分子比는 앞에서 言及한 바와 같이 1.0 以下로 해야한다는 것이 중요하다.

石膏를 添加시킨 結果 그 첫째 效果로서 clinker 中の alkali는 증가하고 다른 한편으로는 kiln inlet에서 alkali 揮發量이 적어서 alkali를 줄이려는 by-pass 施設이 逆效果를 주었다.

4-3 低alkali cement clinker

北美의 cement 市場은 cement 中の 許容 alkali 含量이 유럽 市場과는 다르다. 北美 대부분의 cement 生産者는 alkali 含量이 Na_2O 基準으로 0.6% 以下인 cement를 生産할 수 있어

야 한다. 需要者들이 低alkali cement를 찾는 이유는 대부분의 지역에서 alkali 反應性 骨材를 사용하고 있기 때문이다. alkali 反應性 骨材를 사용하면 concrete의 膨脹이 관찰되었으며 alkali 非反應性 骨材를 사용하면 cement 中の alkali 含量이 높아도 concrete의 膨脹率이 낮았다.

alkali 反應性 骨材는 보통 地質學的으로 初年の 無定形 silica(不純 SiO_2)를 함유하고 있다. alkali가 0.6%를 超過할 때 상당한 膨脹이 일어난다는 것이 증명되었다. 고도의 經濟性 있는 kiln일수록 clinker 中 alkali 문제에 苦心하게 되기 때문에 low alkali cement의 요청은 cement 生産者들에게 중요한 문제로 되고 있다. cement 需要者가 alkali를 規制하도록 할 것이 아니라 그들이 사용하는 骨材를 바꾼다면 상당히 유리할 것이다.

그러나 오늘날 대부분의 cement 生産者들은 clinker 中の alkali 含量을 낮추기 위해서 매우 값비싼 投資를 가꿈하고 있다.

4-4 chloride와 alkali 減少

kiln gas를 by-pass시켜 alkali와 chloride의 상당량을 감소시킬 수 있다. <Fig-8>에 나타난 바와 같이 kiln inlet와 kiln과 연결된 duct 부분에서는 chloride와 alkali의 濃도가 대단히 높다. 따라서 이 부분에서 적당량의 kiln gas를 빼냄으로써 불리한 成分의 量을 줄일 수 있다. chloride는 순환율이 매우 커서 chloride 含量을 줄이기는 쉬우나 alkali는 순환율이 적어서 제거하기가 어렵다.

<Fig-8>에 K_2O , Na_2O , 및 chloride에 대한 diagram이 있다. 각각 by-pass 없이 操業하는 條件과 kiln gas를 15% by-pass하면서 操業하는 條件에서의 diagram이 있다. sulfur에 대해서도 같은 diagram을 만들 수 있다. sulfur/alkali 比가 1.0보다 작을 때는 sulfur의 순환이 가리의 순환과 비슷하지만 sulfur/alkali 比가 1.0보다 클 때는 sulfur 순환이 sodium 순환과 더 類似하다. 후자의 경우 sulfur의 일부분이 SO_2 로 되어 排出된다. kiln gas의 by-pass는 유럽을 비롯한 世界 各地에서 성공적으로 사용되어 왔으며 이는 주로 chloride를 減少시켜 coating 問題를 제거할 목적으로 使用되었다. chloride를

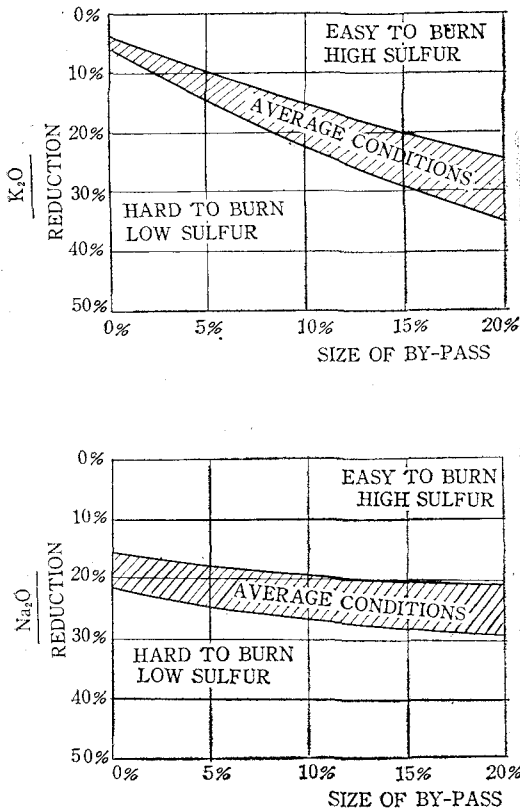
감소시키기 위한 by-pass system은 3~5% 정도의 小量의 by-pass로서 충분하며 小量을 by-pass 시키는 데는 施設費가 별로 많이 들지 않았다. 유럽에서는 低 alkali cement를 별로 찾고 있지 않으므로 alkali를 減少시키는 큰 by-pass 施設은 없고 chloride 除去用 小規模 by-pass 施設이 있으나 여기서 alkali 감소에 대한 중요한 정보와 data가 많이 얻어지고 있다. 주어진 alkali 감소량에 따라 by-pass해야 할 gas량을 추정할 수 있다.

대개의 경우 4단 preheater에서 低 alkali cement를 생산하기 위해서는 상당히 많은 양의 (10~20%) kiln gas를 by-pass해야 한다고 알려져 있다.

어떤 경우에는 推定値가 상당히 큰 경우도 있다.

4-5 by-pass 規模의 決定

<Fig-9>에는 kiln gas의 by-pass 量과 K_2O 및 Na_2O 의 감소량과의 관계를 나타내고 있다.



<Fig-9> Four-stage preheater kiln—
by-pass size versus reduction

K_2O 와 Na_2O 의 감소는 여러가지 因子의 영향을 받는다. 이 두 化合物에 대한 average condition을 graph에서 線으로 그리지 않고 斜線으로 表示했다. 이 斜線部分의 아랫 쪽은 average condition보다 좋고 윗 쪽은 더 나쁠 것이다. 蒸發이 많이 되면 alkali 순환이 많아지고 결과적으로 by-pass의 效率이 높다.

燒成이 잘 안되는 raw mix는 燒成帶의 溫度가 높고 또 蒸發量이 증가하여 by-pass의 效率이 높아진다. raw mix 中에 sulfur 含量이 적으면 clinker 中의 alkali sulfate가 적어지고 alkali의 蒸發量을 증가시켜 by-pass로 인한 alkali 감소의 效率을 높인다. 그러므로 natural gas와 같은 低硫黃分의 燃料를 쓰는 것이 유리하다. raw mix에 calcium chloride를 첨가하여 kiln feed에 chloride 含量을 증가시키면 燒成帶에서 alkali 揮發度가 상승한다.

alkali by-pass system을 설치한다면 첨가된 chloride로 인하여 적은 양의 by-pass로서도 좋은 效果를 얻을 수 있다. chloride를 첨가하게 되면 4단 preheater kiln은 by-pass system 없는 操業이 곤란하다. 왜냐하면 4단 preheater kiln에서 coating 問題를 일으키지 않으려면 全體 chloride를 0.015% 以下로 제한해야 한다.

<Fig-10>은 by-pass 量에 따라 raw mix 中에서 chloride의 最大許容量을 보여 주고 있다. 즉 by-pass 없이 操業하려면 raw mix 中에 chloride가 0.015%까지는 許容된다. 그러나 by-pass를 하게 되면 raw mix 中 허용되는 chloride의 量은 by-pass 量에 따라 달라진다. kiln과 連結된 duct 內에서 chloride의 濃度가 어떤 定해진 最大值以下로 되도록 by-pass 量을 결정해야 한다. kiln gas by-pass로서 얼마만한 量의 chloride가 감소될 것이냐 하는 것은 精確하게 예측할 수 있다. raw mix 中에 chloride의 最大許容量과 by-pass 量과의 관계 graph에서 average condition을 나타내는 band가 좁은 것은 이 때 問이다.

4-6 by-pass 施設의 配置

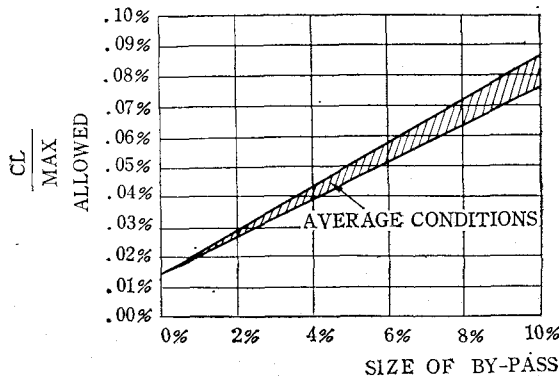
by-pass system을 통한 dust의 loss를 最小로 하기 위하여 by-pass 引出口은 dust의 濃도가 낮은 곳에 位置해야 한다. kiln 內에서 水平

方向으로 흐르던 kiln gas가 kiln 入口에서 垂直으로 방향이 바뀌므로 material dust로부터 dust가 飛散된다. 이 dust는 kiln 入口에서 멀리 떨어질수록 그 濃度가 짙어진다. 따라서 preheater에서 kiln 쪽에 가까울수록 dust의 濃도가 낮아진다.

<Fig-11>에서 보는 바와 같이 kiln gas의 引出地點은 preheater의 아랫 部分이며 이 지점에서 kiln feed dust의 濃도는 10~15%이다. 만약 이 地點에서 kiln gas를 7~10% 引出한다면 dust의 loss는 kiln feed의 1% 程度가 된다.

<Fig-11>은 by-pass mixing chamber의 design을 보여 준다. 粘性이 있는 alkali가 많은 dust나 alkali vapor 때문에 by-pass system내에 coating이 생기는 것을 방지하기 위해서 by-pass gas는 引出하자마자 冷却시켜야 하며 冷却溫度는 alkali와 chloride 化合物이 凝固할 수 있는 溫度以下로 冷却시켜야 한다.

冷却 후에는 非粘性 固體粒子和 alkali를 by-pass spray tower를 통해 dust collector로 뽑아 處理한다. by-pass gas는 引出口 入口에서 vortex 入口를 통해 들어 오는 주위 空氣로 冷却시킨다. by-pass gas와 浮遊 dust는 空氣에 의해서 750°F까지 冷却되고 더 이상의 cooling은 water spray tower에서 이루어진다. 냉각 공기는 by-pass gas에 포함되므로 by-pass collector와 fan이 이들 전부를 처리해야 한다. kiln gas 15%를 by-pass시킬 때 by-pass system의 collector는 본 kiln 집진기의 半程度 容量이 필요하다. 그러므로 15~20%의 by-pass system



<Fig-10> Four-stage preheater kiln—
max. allowed chloride versus size of by-pass

을 설치할 때 設置費用이 상당히 높아진다.

정상적으로 preheater를 거쳐 나온 waste gas는 온도가 650°F인데 by-pass의 경우는 1,900°F에서 waste gas를 引出하므로 by-pass system은 kiln의 熱消耗量을 증가시킨다. 燃料 消耗量증가는 kiln gas를 1% by-pass시키는 데 따라 약 0.9% 증가한다.

4-7 操業面에서의 參考事項

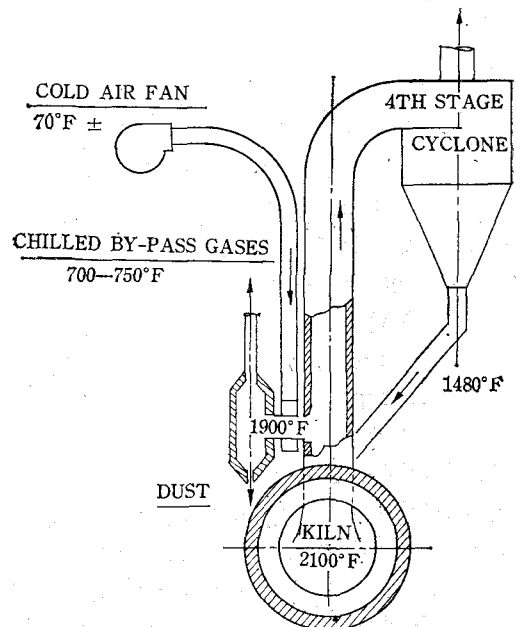
4단 preheater kiln의 操業에 關聯되는 몇가지 문제점을 적어 보던

(a) control system의 잘못으로 preheater의 過熱로 인한 preheater clogging이 자주 생긴다.

(b) coating의 成長을 check하여 coating이 크게 成長하기 前, 處理가 容易할 때 제거해야 한다. 흐르는 gas 저항의 변화를 명확히 測定할 수 있는 測定 기구를 설치하여 coating의 生成與否를 알아내야 한다.

(c) coating을 제거하기 위해서 適當한 位置에 適當한 숫자의 manhole을 설치해야 한다. 사람이 안전하게 作業할 수 있도록 cyclone의 配列, floors, platform 등을 설치해야 한다.

(d) 정기적으로 coating을 제거한다면 正常的



<Fig-11> Four-stage preheater kiln—
by-pass arrangement

<Fig-12> Comparison, operating data;

kiln feed with: 0.50% K ₂ O+0.25% Na ₂ O(LOI 36%) ignited: 0.78% K ₂ O+0.39% Na ₂ O~Na ₂ O equiv.=0.90%					
wet kilns	net Btu/t (1)	net Btu/bbl (2)	% (3)	Na ₂ O EQ clinker (4)	% dust wasted (5)
nodule kiln	6,100,000	1,100,000	218	0.50	4
dust kiln	5,000,000	900,000	178	0.65	6
dry kilns					
long dry kiln	4,200,000	755,000	150	0.60	7
long dry kiln	3,400,000	610,000	121	0.70	10
1-stage preh. kiln	3,300,000	595,000	118	0.75	10
2-stage preh. kiln	3,200,000	575,000	114	0.80	0
4-stage preh. kiln	2,800,000	505,000	100	0.80	0
4-stage, 15% by-pass	3,200,000	575,000	114	0.65	3

<Fig-13> Comparison, equipment cost
(all kilns : 1,350 tpd 7,500bpd)

wet kilns	%
nodule kiln	140
dust kiln	145
dry kilns	
long dry kiln	140
long dry kiln	150
1-stage preheater kiln	145
2-stage preheater kiln	120
4-stage preheater kiln	100
4-stage, 15% by-pass	110

인 kiln operation 에 방해가 되지 않는다. cyclone 내에 automatic air jet 장치를 設置하면 심한 coating이 생기는 기회가 줄어들어서 運休時間, 人力을 많이 줄일 수 있으나 이 경우에도 人力에 의한 poking이 역시 필요하다.

(e) coating 문제가 별로 심각하지 않거나 혹은 전혀 문제가 없다면 4단 preheater kiln은 균일한 正常運轉을 계속할 수 있다. wet process와 같이 long kiln에서 생기는 激流(rush)는 거의 없다.

(f) 正常運轉을 위해서 preheater kiln은 内部施設을 가지고 있는 long kiln의 正常的인 速度보다 빠른 速度로 運轉하는 것이 有利하다. 4단 preheater kiln은 1.8~2.0 rpm으로 運轉하는 것을 가끔 볼 수 있다. 어떤 preheater kiln은 이보다 더 빠른 速度로 運轉한다.

(g) kiln feed의 粉末度와 粉末度分布에 관하여 suspension type preheater는 더 coarse한 kiln feed를 공급해도 燒成이 가능하다. burning zone에서의 clinker 鑛物生成에 있어서 raw mix의 粉末度는 대단히 중요하다. 다른 type의 kiln에서는 raw mix의 特性에 따라 50 mesh residue를 어느 一定線 이하로 유지해야 한다.

(h) dust를 捕集하기 위해서 電氣集塵機를 사용할 때 coarse한 粒子는 電氣集塵機의 入口에다. 捕集되고 出口에서는 fine한 粒子가 捕集된

서 alkali는 단독으로 微細한 粒子로 結晶化되기도 하고 혹은 dust나 투입 원료의 粒子表面에 結晶化하기도 한다. long open kiln은 alkali 單獨으로 結晶化된 粒子가 더 많다.

이와 같은 사실로 미루어 볼 때 電氣集塵機의 出口에서 捕集된 dust를 버림으로써 alkali를 減少시킬 수 있는 것이다. 反面에 4단 cyclone preheater kiln에서 排出된 dust는 固體粒子 표면에 結晶化된 alkali를 포함하고 있다. alkali는 電氣集塵機의 길이 方向의 분포를 갖는다. 4단 preheater kiln에서 排出되는 dust는 alkali含量이 적으므로 system 내에서 alkali를 除去하려면 많은 量의 捕集된 dust를 除去해야 하며 이와 같은 方法으로 除去된 alkali는 極히 적다.

5. 比 較

5-1 operating data

<Fig-12>는 本 report에서 記述된 wet process와 dry process 등 여러 가지 kiln의 運轉 data를 比較한 表이다. 쉽게 比較할 수 있도록 by-pass를 하지 않은 경우의 4단 preheater의 열소모량을 基準으로 하여 퍼센트로 表示했다. 在來式 wet process인 nodule kiln은 4段 preheater kiln에 비해 연료 消耗가 118% 더 많고 가장 經濟的인 wet process인 dust kiln은 4단 preheater kiln보다 78% 더 많다. long

dry process kiln 은 kiln 내 chain 의 數에 따라 21%에서 50% 까지 연료 消耗가 더 많다.

모든 kiln 에 同一 raw mix 를 공급했다고 假定하면 精度는 낮지만 kiln 에 따른 alkali 감소량을 比較 推定할 수 있다.

kiln 에는 전부 電氣集塵機가 설치되어 있는 것으로 생각되며 排出되는 dust 의 量은 표에 나와 있다.

5-2 equipment cost

序言에서 言及한 바와 같이 本 report 에서 설명하는 kiln 은 전부 동일 raw mix 를 사용하는 1,350t/d 규모의 kiln 이다. 그러므로 <Fig-13> 에서 equipment cost 의 직접 比較가 가능하다. 모든 kiln 에 대해 內部裝置, 耐火煉瓦, planetary cooler, 電氣集塵機, IDF 를 포함한 cost다. long dry kiln 과 1段 preheater kiln 은 cost에 cooling 을 위한 內部 water spray system 과 kiln 排 gas 의 調節裝置가 포함되어 있다.

1段, 2段, 4段 및 15% by-pass 하는 4段 preheater kiln 에는 spray tower cost 가 포함되어 있다. 設置費와 基礎, ducts, piping 등의 費用은 포함되어 있지 않다. 裝置費用은 by-pass 없는 4段 preheater kiln 을 基準으로 했으며 在來式 wet process 인 nodule kiln 은 4段 preheater kiln 보다 推定 設置費用이 40%나 높다. dust kiln 은 nodule kiln 보다 비싸지만 전체적인 設備費用은 큰 차이가 없다. 이것은 nodule kiln 이 매우 비싼 dust collector 를 必要로 하기 때문이다.

long dry kiln 은 kiln 內 chain 의 數에 따라 4段 preheater kiln 보다 設置費用이 40~50%

더 많이 든다. 4段 cyclone preheater kiln 은 北美地域에서 매우 將來性 있는 type 이다. 이것은 4段 cyclone preheater kiln 의 運轉上의 難點이 차츰 解決되고 있기 때문이다. 北美에서 앞으로 건설할 4段 cyclone preheater kiln 은 low alkali cement clinker 를 생산하기 위해서 by-pass 施設을 갖추게 될 것이다.

대규모의 alkali by-pass 를 하는 때는 經濟的인 문제가 중요한 factor 로 되어 있다. 설치할 kiln 의 type 을 선정하기에 앞서 주어진 條件下에서 사용하는 raw material 의 特性(物理的, 化學的)을 철저히 調査해야 한다. 4段 cyclone preheater kiln 은 15% by-pass한다 해도 經濟的으로는 有利하다. 最終的인 結論을 내리기 前에 技術的, 經濟的으로 具體的인 사항을 檢討해야 함은 물론이다. 最善의 解答은 投資에 대해 cement 生産者에게 최대의 利益을 주는 것이다.

cement clinker 를 生産하는데 wet process 를 擇할 것이냐 dry process 를 擇할 것이냐를 決定하는 基準은 經濟的인 觀點에 두어야 한다. 그중에서도 연료비가 가장 큰 因子가 된다. wet process kiln 은 dry process kiln 보다 훨씬 많은 fuel 을 消耗하지만 dry process 라도 raw material 中에 水分이 6~8% 以上이면 이것을 乾燥시키는데 많은 fuel 이 消耗된다. 4段 cyclone preheater kiln 이 北美에서는 매우 成功的이며 이들의 대부분은 大形 alkali by-pass system 을 導入하여 low alkali cement clinker 를 生産하게 될 것이다. (Rock Products 誌 74年 5月 號에서).