

# 포틀랜드 시멘트의 製造

## 1. 序 論

K. C. Barrell

韓國洋灰工業協會  
調 査 課

- ……………編輯者註: 다음글은 Cement, Lime and Gravel 誌 1971……………○
- ……………년 1 월호부터 연재되는 기사로서 계속해서 번역 소……………○
- ……………개할 예정이다. 이 글은 이번호에서 시멘트의 起源과……………○
- ……………여러가지 製造過程의 發展狀況을 叙述하고 特別히 選……………○
- ……………擇된 製造方法에 關한 것들을 概說하였다 ……………○

### Portland 시멘트의 起源(註 1)

18世紀末 및 19世紀初에 「유럽」에서는 물속에서 凝結할 시멘트를 만들어 내기 위한 努力이 상당히 活潑하게 움직이고 있었다. 1758年 Smeaton은 물속에서 凝固하는 石灰에는 粘土質이 상당히 많이 包含되 있음을 알아냈다. 實例로서 South Wales에 埋藏되어있는 푸른 색깔의 石灰岩을 들수 있는데 그는 이것을 Roma 近方에서 나오는 pozzalana와 結合시켜서 Eddystone의 燈臺建設에 처음으로 使用하였던 것이다. 그는 堅固性이나 耐久性에 있어서 그당시 市場에서 가장 人氣가 좋았던 Portland stone과 同等한 시멘트를 만들수 있음을 믿어 疑心치 않았다.

그 당시에는 Roman Cement가 紹介됨으로써 시멘트製造에 상당한 進전을 가져왔는데 이 Roman Cement는 粘土덩어리를 거의 透明해 질때까지 熟을 가하고난 다음 이를 粉碎함으로써 만들었는데 그러한 粘土는 石灰質의 적은 結晶體를 含有하고 있는 것으로서 Sheppey의 Isle에서 發見되었으며 뒤이어 Essex, Yorkshire, France 및 Sweden에서도 發見되었다. 그 當時의 實驗者들은 石灰石이나 chalk 및 粘土를 kiln

에 넣고 煨燒함으로써 시멘트를 만들려는 努力을 繼續하였는데 이것은 Roman 시멘트製造方法을 模倣한 것이었다.

1822年 Kent의 Swanscombe에서 James Frost가 British Cement를 特許받아 生産하게 되었고 1824년에는 Leeds地方의 Joseph Aspdin이 시멘트나 혹은 建物を 장식하기 위한 人造石製造方法을 改良하여 特許를 맡았는데 그는 이것을 Portland 시멘트라 하였다. 그 理由は 헛가루 반죽作業이 Portland stone과 같았기 때문이었다. 그러나 이러한 것들은 오늘날 水硬性石灰로 規定되고 있을 뿐인데 그 原料는 kiln 안에서 煨燒될뿐 透明點까지는 도달하지 못하기 때문이다. 事實 原料가 初期에 透明될 때까지 熟을 받으면 단단한 크링카를 만들수 있다는 기록이 있었는데 지금은 이 기록이 전해 지지 않고 있다. Aspdin의 아들 William이 Gateshead, Rotherhithe 및 Northfleet에서 工場을 세웠으며 그의 Portland 시멘트가 Brunel에 의한 主要土木工事에서 Roman 시멘트보다 優先적으로 사용되었다. 競爭者들은 Aspdin의 製造方法에 대한 細部內容을 배울려고 하였지만 그가 秘密로 해 버렸기 때문에 알수가 없었다. 그후 Roman

시멘트와 British 시멘트를 만들고 있는 Swanscombe의 Frost 工場의 支配人이고 化學者이기도 한 I. C. Johnson이 煨燒상태를 넘어서 더욱 강하게 燃燒하여야 한다는 結論을 얻게 된 것은 1840년에 이르러서였다. 그러나 그는 오로지 거의 우연한 일로 chalk와 粘土의 適當한 配合比率를 결정하는데 성공하게 된 것이다. Aspdin이 그의 製品에 Portland 시멘트라고 이름을 붙인 것은 分명한 事實이지만 Johnson이 실제 發明者임이 일반적으로 認定되고 있다. 어쨌든 特許局에는 Portland 시멘트나 혹은 그와 類似한 시멘트의 發明者에 대한 記錄이 나타나 있지 않고 있다.

시멘트工業은 Thames와 Medway 地方에서 急速히 퍼지게 되었으며 따라서 Portland 시멘트는 그 근방의 Chalk와 粘土에 의해서만 만들어질 수 있는 것으로 믿게 되었다. 그러나 불란서의 Boulogne과 독일의 Stettin에 큰 工場이 생겼고 얼마후에는 美國에도 工場이 생겼다. 그런데 아마도 英國시멘트가 좋은 名聲을 얻게 된 것은 주로 原料의 品質이 매우 좋기 때문인 것 같았다.

Chalk와 粘土는 washmills속에서 물과 함께 適當한 比率로 잘게 빻아지는데 그 washmills에서 Chalk에 있는 flints가 제거된다. 그 結果 Slurry는 backs이라 불려지는 얇은 층에 남게 되고 물만 흘러 나가게 된다. 남은 混合物은 벽돌 크기만한 blocks에 담기게 되고 건조된 다음 bottle, Chamber 혹은 shaft kilns에 石灰炭과 함께 쌓여져서 燃燒된다.

Portland 시멘트가 石灰石, 粘土 혹은 shale을 原料로 하여 똑같이 잘 만들어 질수 있다는 사실이 확립되자 그러한 適合한 原料가 埋藏된 곳에서는 시멘트工業이 成長하게 되었다. 이러한 硬質 原料는 첫번째로 乾燥된 다음 고운 粉沫로 분쇄 되어서 適當한 比率로 混合되고 blocks에 담겨 kiln에 쌓이게 된다. 型押器, 끝이 날카로운 절구를 가진 粉碎器와 맷돌을 사용하는 이 方法은 軟質 原料를 washing하고 混合하는 方法보다 더 까다로운 製造方式이었다.

1885년에 發明된 ball-mill과 1895년에 考案된 tube-mill은 原料와 크링카를 粉碎하는데 변혁을 가져왔다. 1877년 英國에서 처음으로 rotary

kiln이 特許를 받게 되었으나 그의 改良이 抛棄 상태까지 놓여있다가 1895년 美國에서 企業化하기에 이르렀다. 特許權은 rotary kiln이 1900년에 처음으로 稼動하게 된 英國에서 가지고 있었다.

처음에는 凝結時間이 매우 빠른 시멘트를 生産함으로써 발생이 많았었다. 이것은 前에 정지된 kiln에서 燃料가 原料에 密接되어 燃燒되므로 石灰에 含有된 많은 量의 硫黃分이 燃料中の 硫黃分과 함께 굴뚝을 타고 날아가 버렸기 때문임을 알게 되었고 크링카를 粉碎할 때 石膏를 添加함으로써 이를 補充하게 되었다. 이들 初期의 kiln은 벽돌로 안을 낸 강철로 만든 원통형으로 길이는 約 30 m, 直徑은 約 2 m에 달하였고 기울기는 約 1 in 30이었으며 廻轉速度는 約 1 rev/min였다. 原料는 kiln의 윗쪽 끝에서 供給되었고 크링카가 噴出되는 아랫쪽 끝部分의 噴射口에 粉炭, 기름, 혹은 天然 gas를 집어 넣어서 加熱하였다. 여기서 나온 크링카는 불덩어리인데 곧 쿨리에 들어가게 된다. 生産量은 하루에 約 50 屯程度였다.

오늘날 같은 原理가 전해지고 있지만 大規模化하여 하루 生産量이 4,000 屯 이상에 달하고 있다.

### Portland 시멘트의 定義

Portland 시멘트의 製造는 여러나라에서 經驗을 通하여 發展해 왔기 때문에 그 定義가 統一되지 않고 意見이 여러가지로 구구하다. 오늘날에는 40여개국 이상이 標準規格을 가지고 있는데 結合物, 強度 및 試驗方法에 關한 定義가 各各 상이하어 形편에 따라 다르며 主로 國家的 地반에 근거를 두고 있다. 따라서 모든 나라에서 首肯할 수 있는 統一된 體系를 갖는 方向으로 國際的 合作이 始作되고 있으며 또 進行中에 있지만 各種 多樣한 試驗方法, 裝備 및 規格이 各各自 己分野에서 확고한 근거를 가지고 있으므로 이를 統一시킨다는 것은 만만치 않은 課業임에 틀림없다.

Portland 시멘트에 關한 英國標準規格이 처음 發刊된것은 1904년이었는데 그후 지금까지 여러번 改正되어 왔다. 現行의 標準은 BS12(1958)로 이는 原本이 간행된 이래 약간 수정된 것이다. 빨리 硬化하는 Portland 시멘트는 英國에서 처음

生産되었으며 1940년에 처음으로 英國標準規格에 들어가게 되었다. 다른 나라에서는 이것을 부강 시멘트라고 하는데 다 같은 뜻이다. 그 말은 빨리 凝結하는 것과 混同해서는 안된다. 凝結時間은 普通 Portland 시멘트가 規定된 것과 똑같다. 그것은 普通 Portland 시멘트처럼 같은 原料와 같은 機械로 만들어 지는 眞 Portland 시멘트인 것이다. 다만 그 差異는 더 높은 CaO를 함유하고 있어 燒成을 더 오래 해야하고 더 곱게 粉碎해야 된다는 것이다.

BS 12와 附合되는 餘他の 眞 Portland 시멘트로는 白시멘트와 sulphate resisting Portland 시멘트가 있다. 白시멘트는 普通 시멘트와 같은 性質을 가지고 있지만 高嶺土, Chalk 및 珪土로 만들어 지고 粉碎時 鐵金屬과의 接觸을 피해야 한다. sulphate resisting Portland Cement는 짙은 濃度の 콘크리트를 만드는데 使用되는데 정상濃度の 硫酸으로는 침투되지 않기 때문이다. 그것은 中庸熱의 性格을 가지고 있지만 中庸熱 Portland 시멘트의 標準인 BS 1370과는 또 다른 것이다. BS 915인 High alumina 시멘트는 Portland 시멘트가 아니다.

英國標準規格은 炭酸石灰質이나 혹은 다른 石灰를 가루로 뿜은 것과 그밖에 필요하다면 粘土質, 珪土, alumina, 혹은 酸化鐵을 가루로 뿜은 것을 잘 混合한 다음 이를 高度로 燒成하여 크링카를 만들고 크링카를 粉碎함으로써 시멘트가 製造된다고 規定하고 있다. 燒成 後에는 石膏나 그의 유도체 및 水分을 除外하고는 아무 것도 添加해서는 안된다고 規定하고 있으며 그 粉抹度, 化學性分, 強度, 凝結時間, 堅固性 및 試驗方法이 역시 規定되고 있다. 그러나 製造業者는 그가 좋다고 생각하는 데로 原料의 混合, 燒成, 粉碎를 마음대로 할 수 있는 것이다.

시멘트의 製造工程은 부닥쳐진 여러가지 상이한 조건들을 다루면서 여러가지 方法으로 발전되어 왔는데 그 方法에 對해서는 다음 部門에서 說明하기로 하겠다.

### 여러가지 형태의 製造方法의 發展相

原料를 準備한 後의 製造過程은 3段階로 區

分된다.

(1) 첫단계는 原料를 燒成時에 나타나게 될 化學反應에 必要한 程度까지 粉抹로 粉碎하고 이를 알맞는 比率로 잘 混合하는 것이다.

(2) 둘째 단계는 混合된 原料를 kiln 안에서 燃燒하고 冷却시키는 것이다.

(3) 다음 세째 단계는 크링카를 粉碎하는 것인데 이 때 시멘트의 凝結時間을 調節하기 위하여 약간의 石膏가 가미되며, 또한 그 粉抹度는 시멘트가 물과 化學反應을 일으키기에 適合한 것이어야 한다.

### (1) 原料의 粉碎와 混合

Thames와 Medway 地方에서의 시멘트工業初期에는 原料를 알맞는 程度의 粉抹로 만들고, 습기차고 부드러운 Chalk나 粘土를 混合하고, 그리고 原料로부터 flints를 除去해야만 했기 때문에 일반적으로 chalk에서 나타나는 flints를 除去시키는데 있어서 가장 쉽고도 가장 經濟인 方法은 原料를 물속에서 뿜거나 혹은 水洗하는 것이었다. 이 方法은 rotary kiln이 出現된 후에도 계속 使用되었다. 거기서 나온 slurry는 原料의 物理的 性分에 따라 다르지만 약 32~42%의 水分을 함유하고 있으며 chalk 中の flint를 除去하는 方法으로는 아직까지도 이보다 더 좋은 方法이 없다.

철저한 原料混合은 水洗하는 동안에 이루어지므로 水洗된 후 混合比를 調整할 必要가 있을 때에는 그것을 다른 構成의 混合物과 함께 mixer basins이나 혹은 doctor tank에 넣고 섞음으로써 쉽게 混合을 調節할 수 있었다.

硬質原料를 使用하는 곳에서는 crusher나 grinding mill을 使用하여 원하는 粉抹을 만들어 내야만 했고 이때 그 原料는 일반적으로 粉碎되기 前에 乾燥시켜야만 했다. 原料의 混合은 이들을 함께 粉碎함으로써 이루어지는데 粉碎된 後 混合比率를 修正하려고 할 때에는 比率이 다른 原料粉을 配合해야만 하며 그러기 위해서는 장비를 使用해야만 했기 때문에 slurry 方法보다 좀 까다로웠다.

이렇게 해서 軟質原料에 對한 濕式과 硬質原料에 對한 乾式의 두가지 製造方法이 發展 되었다.

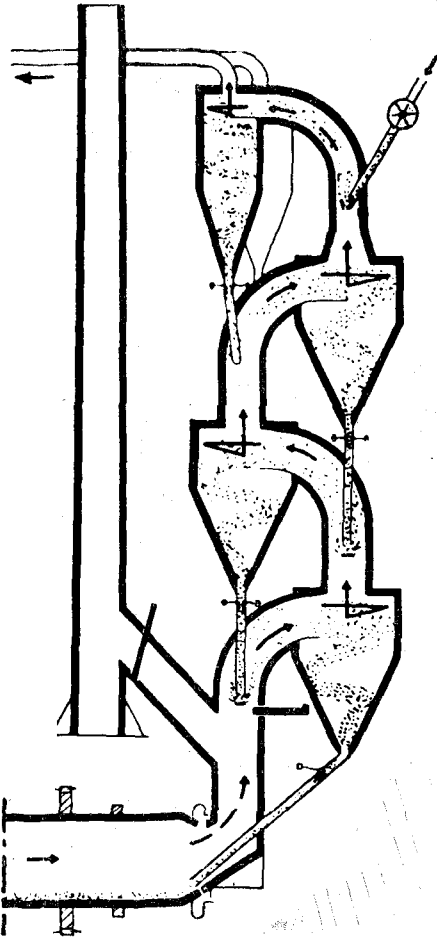


FIG. 1 The Humboldt suspension-type preheater

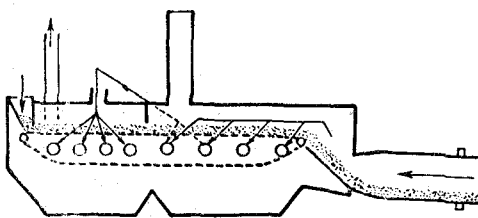


FIG. 2 The Lepol grate-type preheater

이들 사이의 뚜렷한 差異는 軟質原料를 水洗하는 濕式이 硬質原料를 crushing 하고 grinding 하는 乾式보다 動力이 덜 들고 slurry 를 混合하는 것이 原料粉을 混合하는 것 보다 棼 容易한 것으로 나타났다. 乾式에 있어서는 kiln 의 熱消費가 적지만 깨쓰를 噴出하는 餘熱은 廢熱보일러에 利用하도록 하고 또한 原料를 乾燥시키는데 使用하여 經濟性을 合理化시키도록 하여야 한다.

初期의 시멘트生産工場은 또한 自體의 原始的인 發動機나 發電施設을 가지고 있었다. 그래서 廢熱보일러는 이들을 便利하게 補充할 수 있었으며 널리 使用되었다. 그러나 조그만 發電施設에서 蒸氣대신에 內部燃燒엔진으로 代치되었고 電氣回路供給器가 出現됨으로써 waste-heat 보일러는 不必要하게 되었다. 그러나 日本에는 아직도 69 개의 kiln 이 廢熱보일러와 連結되 있음은(註 2) 注目해 볼만한 것이다. 여기에 부가해서 말하고 싶은 것은 먼지의 放散問題가 더욱 擴大되었으며 그 當時에 使用한 集塵施設로서는 人口가 密集된 地域에서 惹起되는 公害問題를 防止할 수는 없었다.

Ball-mill 과 tube-mill 이 導入된 것은 rotary kiln 이 開發된 것과 거의 같은 時間이며 그 안에 물을 넣고 硬質原料를 碎粉할 수 있음을 알게 되었으며 그럴 경우 乾式때 보다 約 10~20%의 動力이 절약된다는 것을 알게 되었다. 이것은 上述한 여러가지 差異點과 關聯하여 많은 工場에서 硬質原料에 對한 濕式工程에 適用하도록 하였다. 그러나 硬質原料에 대한 2개의 製造方法의 利點에 關해서 約 30年 동안에 걸친 論爭은 오늘날 적합하지 못한 것으로 나타났다. 現代의 裝備로서 原料粉의 配合는 slurry 에서처럼 容易하게 되었으며 集塵機는 굴뚝에서 나온 放散을 法令에 準據한데로 減少시켜주고 있으며 양쪽 製造過程에서 똑같이 rotary kiln 은 다음 節에서 說明하는 바와 같이 發展되었다.

## (2) 原料의 燒成과 크링카의 冷却

kiln 內部에서 燃燒되는 동안 濕式의 slurry 나 乾式의 原料粉은 3段階를 거치게 된다.

水分을 털어버림.

約 1,000° C 에서 CO<sub>2</sub> 를 없앴.

約 1,400° C 에서 燒成됨.

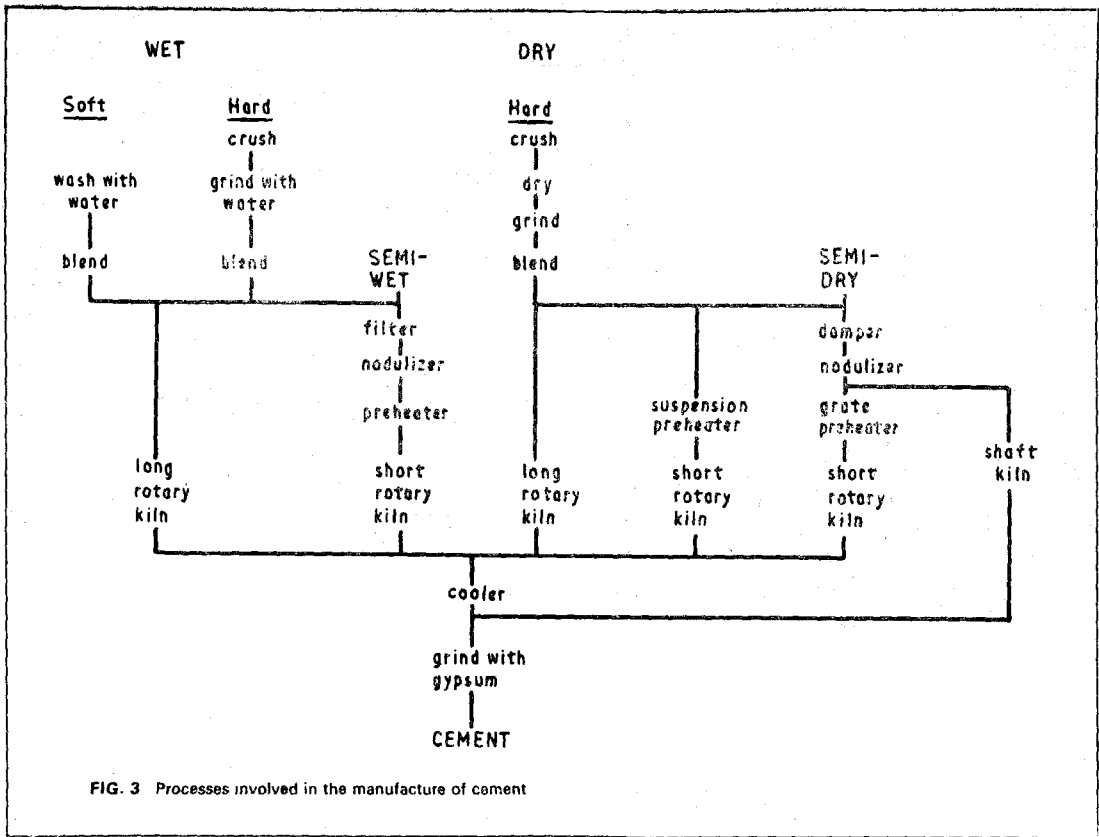


FIG. 3 Processes involved in the manufacture of cement

그리하여 燒成된 크링카는 이를 運搬處理하고 貯藏하기 위하여 約 60°C로 冷却시켜야 한다.

첫 段階에서는 평평한 원통형 kiln의 shell에서 原料가 깨쓰를 받아 열전도가 이루어 진것인데 이 열전도를 增加시키는데 開發이 集中되었다. 濕式에 있어서는 chains과 다른 장치들이 설치됨으로써 그것이 Slurry에 잠기고 묻고 하는 사이에 熱과 접촉하고 表面이 커지고 또한 熱을 더 오래 받게 되었다. 이러한 장치들은 좋은 성과를 거두었으며 먼지의 放散을 最少로 減少시킬 수 있게 되었다. 乾式에서는 溫度가 너무 높기 때문에 단순한 chain 장치는 녹아 버릴 염려가 있어 다만 原料粉이 깨쓰가 흐르고 있는 속으로 떨어지도록 하는 lifting 장치를 設置할 다름이다. 그 結果 噴出 깨쓰의 溫度 및 噴出 깨쓰의 dust 농도가 높기 때문에 dust를 除去하기 위한 集塵機를 應用함에 있어서 여러가지 문제가 惹起되었다. 중대한 발전이 이루어진 것은 kiln에서 첫 단계를 分離하여 原料粉이 kiln에 들어오기 前에

preheater에서 거의 燃燒狀態의 溫度까지 加熱됨으로써 이루어 졌으며 그렇게 함으로써 kiln을 보다 短縮할 수 있게 되었다.

이렇게 하는데는 두가지 方法이 있다. 하나는 乾燥된 原料粉을 연속된 cyclones속에서 供給하여 kiln에서 나온 뜨거운 깨쓰로 加熱하는 것이다. 이것은 아직도 乾式製造過程이라고 생각되는데 普通 suspension preheater라고 한다. 이것은 원래 1934年 「체코슬로바키아」에서 特許를 받은 것인데 1950년까지는 普及되지 못했다. 즉 이때에 Humboldt會社에서는 그 原因을 主로 原料의 水分이 約 8%될 때까지 充分히 乾燥시킬 수 있는 約 350°C의 最終 Cyclone에서 放散되는 먼지를 滿足스러우리만큼 처리 할수 있는 集塵機가 缺乏되 있는데 起因하는 것임을 알게 된 것이다. (그림 1).

다른 하나는 原料粉을 12~14% 정도의 水分을 갖도록 반죽하여 性球化시킨 다음 kiln에 넣기 前에 kiln으로부터 나온 뜨거운 깨쓰가 通過하는

<表 1> 相異한 과정의 熱消費

		kcal/kg
<b>Wet</b>		
Long kiln		1,650
Calcinator and short kiln		1,300
<b>Semi-wet</b>		
Preheater and short kiln		1,000
<b>Dry</b>		
Long kiln		1,300
Suspension preheater and short kiln		875
<b>Semi-dry</b>		
Grate preheater and short kiln	800	
Extra for drying, say	150	
	—	950
Vertical kiln	1,000	
Extra for drying, say	150	
	—	1,150

bed 라는 移動式 grate 에 공급하는 것이다. 이때에 배출된 깨쓰는 原料를 乾燥시키기에는 너무 낮은 約 150°C 로 떨어진다.

이것을 半乾式이라 하는데 1929年경 독일에서 Lelep 博士의 考案으로 grate 과 kiln 을 結合하여 Lepol kiln 이라고 命名한 Palysius 에 의하여 開發되었다(그림 2). 그후 두개의 基本方法은 다른 기계製造者들에 依해서 여러가지로 변경 發展되었다. 이들 두 製造方法이 全世界를 通하여 널리 보급되었는데 英國에서는 戰後에 既開發된 技術的인 資料를 토대로 하여 乾式 或은 半乾式으로 5個의 새로운 工場을 建設하였는데 그 中 두개는 건설도중에 濕式에서 suspension 으로 工程을 전환시켰다.

濕式에 있어서의 발전도 비슷한 형태에서 이루어졌다. slurry 가 뜨거운 열 속으로 떨어질때 suspension 을 使用하도록 試圖해 보았으나 이 製造過程을 充分히 發展시키지는 못하였다. 그러다가 MIAG 의 calcinator 가 開發됨으로써 kiln 으로부터 分離되어 熱轉導體로 채워진 廻轉 drum 으로 構成되어 있는 preheater 가 完成되었다. 그 calcinator 는 燃料의 消費가 效果의이고 原料에 適合하기 때문에 매우 널리 使用되고 있다. 그것을 既存 kiln 에 適用시킨 結果 生産量의 增加에 効果的인 것임이 立證되었다. preheater 에 供給할 性球를 만들기 위해서 필터를 사용함에 의하여 slurry 의 水分量을 減少 시키게 된 것은 마

땅히 全體 熱消費를 상당히 절감시키는 결과를 가져오게 마련이다. 그러나 실제로는 대부분의 slurry 가 18~20 % 以下の 水分을 갖도록 filtering 하는 方法은 아직 發見되지 못했으며 그리하여 結局 오늘날 까다로운 batch 別 pressure-filters 를 使用하게 된 것이다. 그 filtering 된 cake 은 性球를 만들고 취급하기에 힘들지만 Lepol grates 과 deep-bed counter-flow preheaters 를 使用하여 여러번 實習을 거듭한 끝에 成功하게 되었는데 거기서 slurry 가 알맞게 性球를 이루게 되었다.

한편 rotary kiln 以外에도 vertical kiln 을 看過해서는 안되겠다. 이것은 19世紀末 Schneider kiln 에서 發展된 것으로 시멘트工業 初期의 bottle 및 chamber kiln 에서 進化的으로 發達한 것이다. vertical kiln 은 오늘날 原料粉을 축축하게 하여 性球를 이루도록 하는 半乾式 kiln 의 根本이 되고 있다. 性球와 燃料은 kiln 上部로 繼續 供給되고 廻轉 grate 에 依하여 크링카가 下部에서 排出되어 冷却된다. 그러나 이러한 kiln 은 하루 生産量이 300톤으로 제한되고 있으며 휘발성이 낮은 燃料를 使用하도록 제한되고 있다.

rotary kiln 에 있어서 크링카가 排出口에 도달하면 크링카의 溫度는 燃燒溫度에서 서서히 떨어진다. 그리하여 排出된 크링카는 kiln 과 한데 붙어 있거나 혹은 떨어져 있는 여러가지 형태의 cooler 에 依하여 約 60°C 의 취급하기 쉬운 溫度로 冷却되어 저장하게 된다. 이러한 것들은 rotary kiln 을 使用하고 있는 모든 형태의 製造過程에 있어서 共通된 點이며 冷却劑로서는 空氣를 必要로 하고 있다.

### (3) 크링카의 粉碎

크링카를 粉碎하는 기계는 어떤 製造過程에서나 共通的으로 똑같다. 따라서 粉碎機가 製造工程을 決定하는 要素가 되지 못한다(그림 3)은 여러가지 製造工程의 段階를 쉽게 比較할 수 있게 圖解한 것이다.

### 製造形態의 選擇

여러가지 製造工程에 關해서 正確히 比較할 수 있는 資料를 提示하기란 어려운 일이다. 原料의

特性, 工場規模, 勞動코스트, 燃料 및 動力코스트, 資本費用에 對한 立地條件의 效果, 民家間의 比較 뿐만 아니라 같은 나라 안에서의 工場間의 比較 等 惹起되는 問題가 많이 있다. 때문에 一般의인 比較만이 實行可能한 것이다.

製造業者의 目的이란 最小의 費用으로 良質의 시멘트를 만드는 것이다. 똑같은 良質의 크링카는 rotary kiln 을 使用하는 어떤 형태의 製造方式으로든지 만들 수 있지만 shaft kiln 에 依한 것은 變化가 좀 심한 편이다.

販賣費를 除外한 生産費는 주로 다음과 같은 것에 依存되고 있다.

- 金融費用
- 勞動과 監督
- 維持補修
- 燃料消費
- 動力消費

위의 比較條件 가운데 처음 세가지는 rotary kiln 을 使用하고 있는 製造工程에서는 決定的 要因이 되지 못하고 있는 것 같다. 따라서 나머지는 燃料消費와 動力消費인데 이들은 가장 重要한 項目으로서 이들 두 가지 費用은 全生産 코스트의 約 50%를 차지하고 있다. 燃料消費는 製造方式의 選擇에 따라 달라지며 動力費는 주로 原料가 軟質의 것이냐 혹은 硬質이냐에 따라 달라진다.

여러가지 製造工程에 따른 燃料消費량이 <表 1>에 나타나 있는데 이들은 대체로 年平均 소비에 對한 온건한 評價值로서 大單位 kiln 의 경우 및 쉽게 燒成되는 原料를 使用한 경우와 같은 特別한 경우에는 이보다 더욱 改善될 수도 있을 것이다. 乾式工程에서는 kiln 안에 原料를 乾燥시키기 위한 排出 氣를 充分히 가지고있는 것이 普通인데 半乾式에서는 따로 補充熱을 準備해야만 한다. 이것은 乾式製造工程에서도 역시 始動時에는 利用해야만 한다

動力消費량의 差異는 주로 原料의 購得, 粉碎, 混合의 條件에 따라 달라진다. 軟質原料를 세척하는데는 크링카 屯當 10kwh가 必要하며 採石場에서 採石되어 破碎 및 粉碎되어야 할 硬質原料에 對해서는 硬質程度에 따라 다르지만 크링카屯當 30~60kwh가 必要하게 될 것이다. 그밖의 製造

工程에서는 原料가 軟質이든 硬質이든 간에 크링카屯當 約 70kwh가 所要될 것이다.

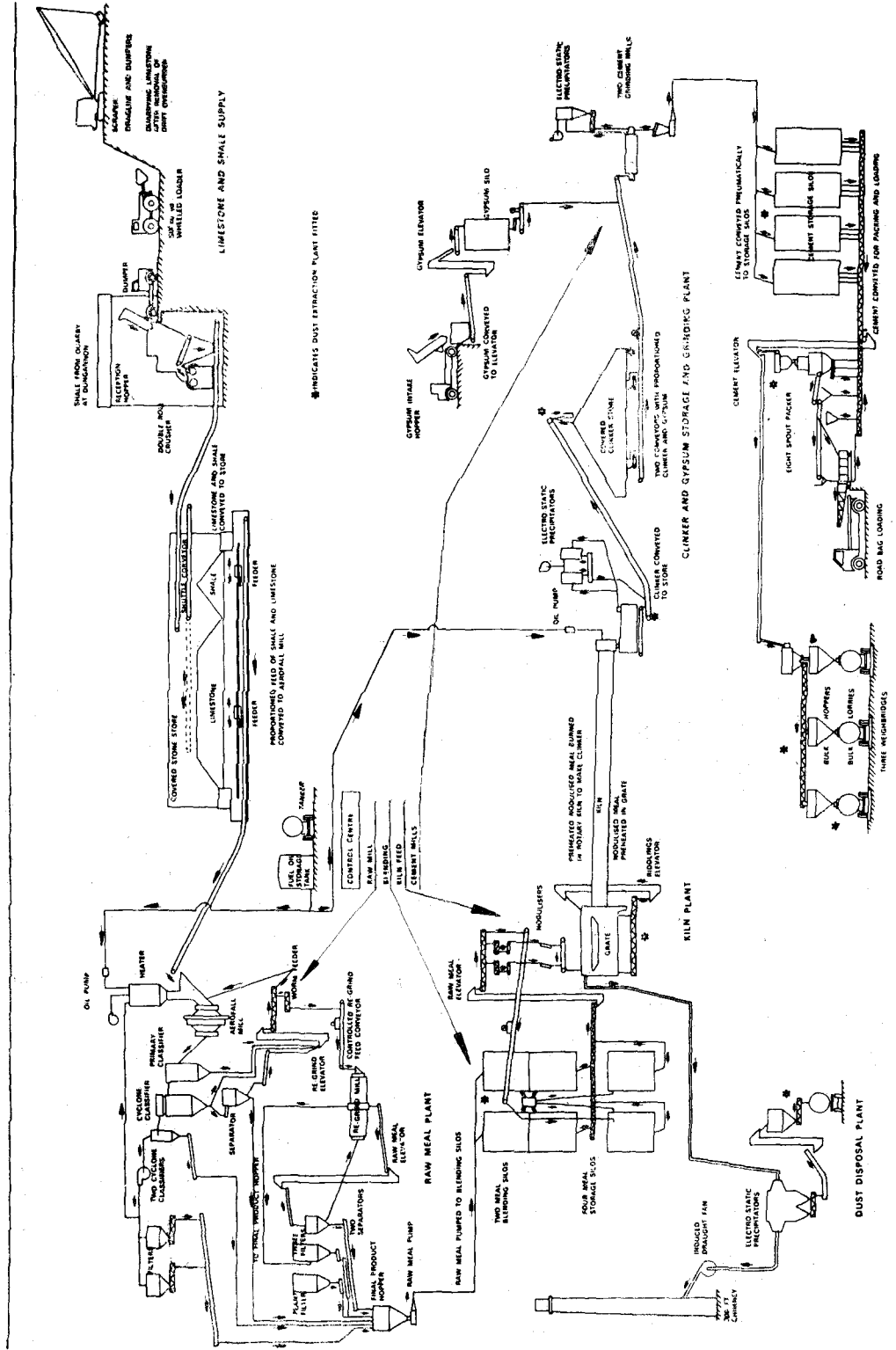
濕式工程은 작은 動力費로 세척될 수 있는 軟質原料를 使用함으로써만이 適用될 수 있다고 하는 데는 의문의 여지가 없다. 그러나 軟質 및 습기있는 原料로 原料粉을 生産하는 문제는 아직 研究단계에 있다. 乾式工程은 Tunnel Cement Ltd. 社의 新 Pitston 工場에서 採用되었는데 처음에는 chalk 를 使用하였다. 그런데 그곳에는 chalk 中の flint 含量이 적었으며, 粘土의 구성이 chalk 와 結合되어 있었다. 그리고 Lepol klin 을 使用하는 半乾式에서 chalk 와 粘土를 使用한 곳은 The Rugby Portland Cement Co., Ltd. 의 South Ferriby 工場이었다.

硬質原料는 例를 들면 西部 아프리카에서 처럼 原料가 매우 습기찬 경우와 같은 特別한 경우를 除外하고는 濕式에서 使用되지 않는 것 같다. 요즘에는 경우에 따라서는 long plain kiln 을 使用하고 있는 데도 있지만 대개는 suspension 이나 半乾式을 採擇하는 傾向이 강하게 나타나고 있다. 選擇의 決定的 要素는 原料에 달려있는 것이다. 만약 原料에 알카리성분이 강하면 suspension preheater 안에서 凝結되거나 birds nesting 反應이 억제될 危險이 있게 된다. 어떤 原料는 grate preheater 에 들어갈 性球가 이루어지지 않기 때문에 半乾式을 使用하지 못하는 경우도 있다.

vertical shaft kiln 은 生産량이 大量으로 制限되어 있으며 휘발성이 낮은 燃料를 必要로 하고 있다. 따라서 金融負擔이 적고 維持하기가 간단해서 純粹한 勞動으로 움직이는 小規模의 工場에서 繼續 使用되고 있다. 그러나 오늘날 英國에는 하나도 稼動되고 있는 것이 없다.

### 概 括

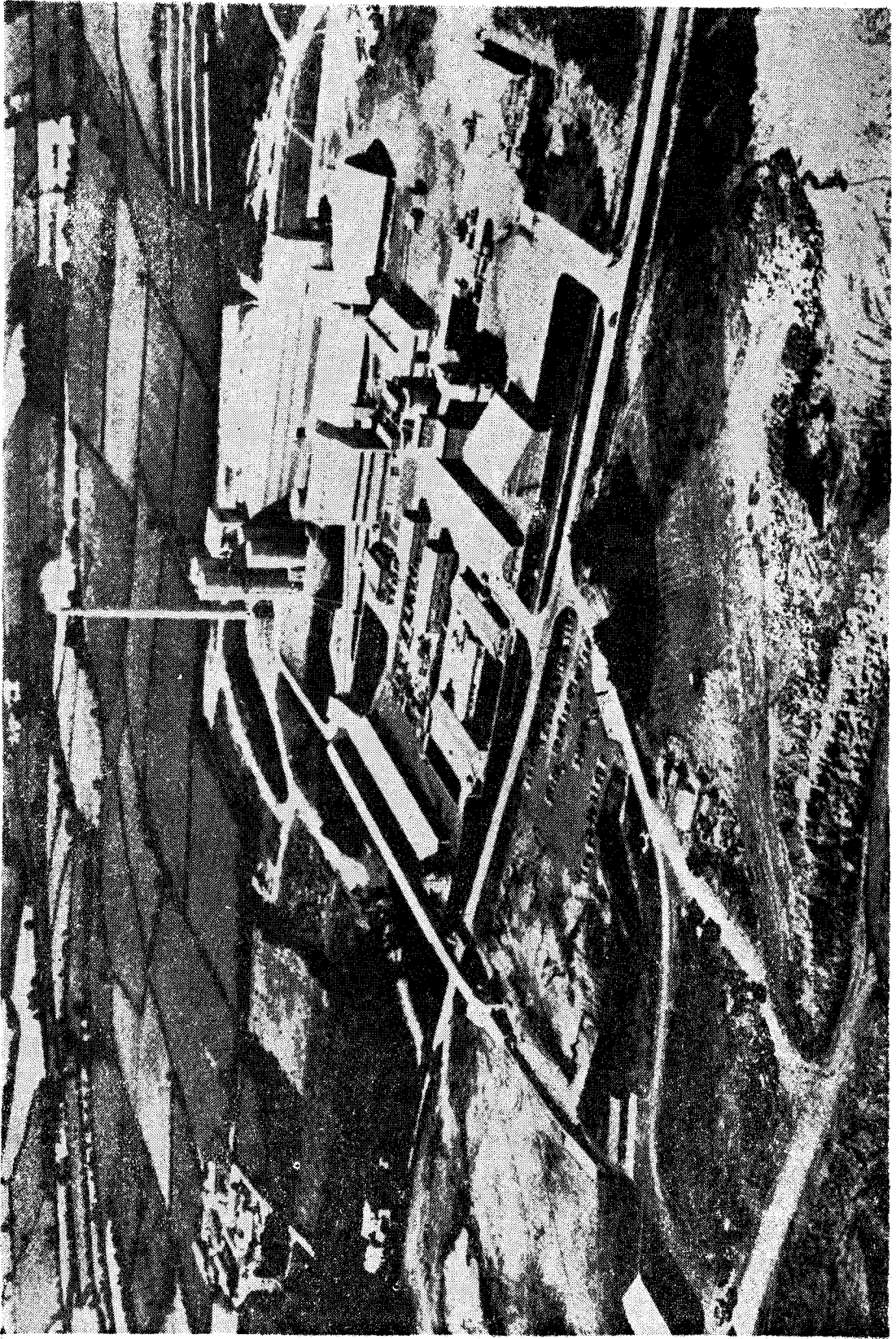
燃燒過程은 初期의 bottle 및 chamber kiln 에 의한 斷續的인 batch operation 으로부터 定期的으로 生産하는 shaft kiln 을 거쳐 연속적으로 稼動되는 近代的인 shaft 및 rotary kiln 으로까지 發展되어 왔다. kiln 과 製品에 심한 타격을 주지 않고 shaft kiln 을 약간 아래로 기울이는 方法이 상당한 期間동안 실시되었으나 rotary kiln 의 본



CEMENT STORAGE PACKING AND LOADING PLANT

FIG. 4 Flow diagram of the Cookstown Works using the semi-dry process





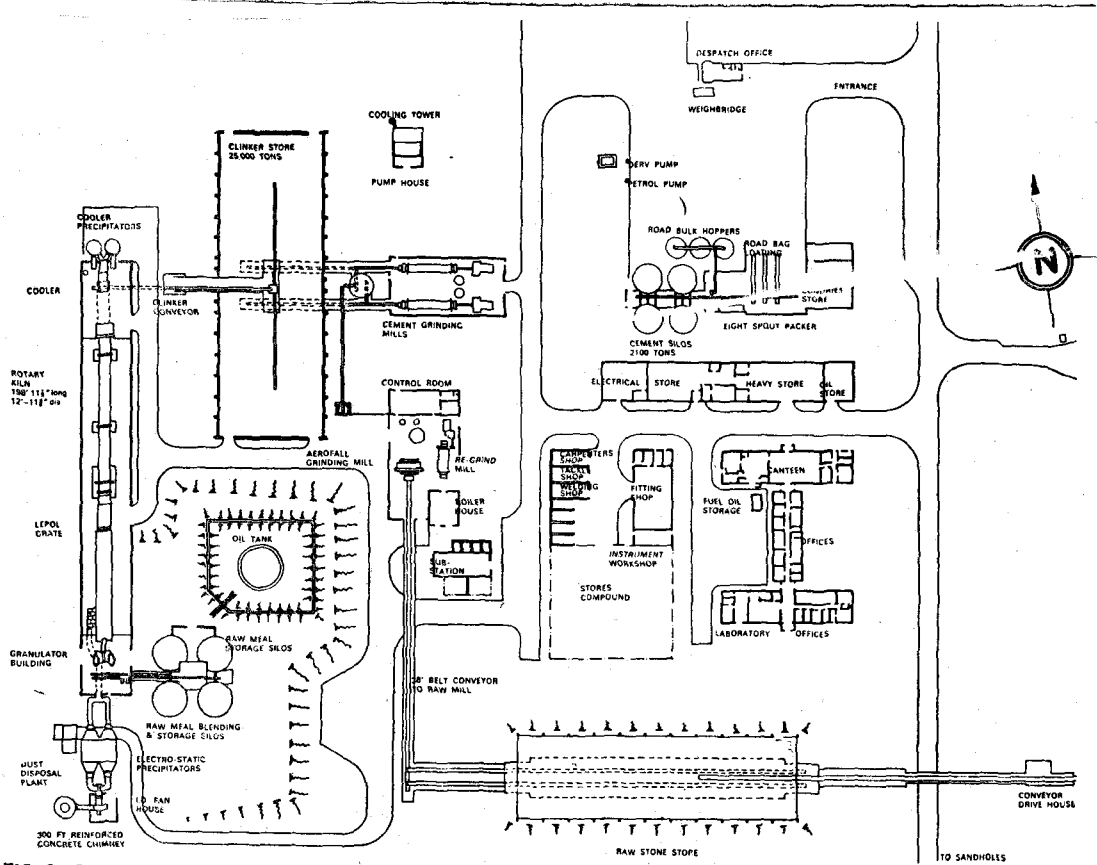


FIG. 6 General arrangement of the Cooktown Works

質은 크링카의 質을 優秀하게 保存할 수 있고 또 kiln 중 가장 상하기 쉬운 部分인 refractory lining의 壽命을 오래 유지하기 위하여 連續적으로 稼動하는 것이다. 이렇게 하여 높은 熱效率이 매우 바람직한 것이지만 그러나 破損되기 쉽거나 維持하기 힘든 裝備에 依存해서는 안 된다. 또 連續稼動을 爲해서는 熱效率을 犧牲하는 것이 더 좋고 Ancillaries를 補修하기 爲한 周期的인 操業停止에 있어서는 近來 實際로 12個月을 증가하고 있는 refractory lining의 最適壽命에 맞추도록 努力하는 것이 보다 바람직하다.

그러나 原料採取와 크링카粉碎設備은 여기에 充分한 저장 能力이 마련되고 따라서 이들 시설이 정리되는 기간에도 kiln을 계속 가동시킬 수 있게 될 경우에는 연속 操業을 하도록 設計할 必要는 없다. 여러 段階에 걸쳐 행해질 總貯藏量은

實際 實行可能性과 그의 코스트 및 各段階의 運轉費에 의하여 左右된다. 運轉時間을 調節함에 있어서는 電力이 供給될 때 負荷率을 높이고 또한 電壓이 peak를 이룰때의 最大 需要를 줄여 許容될 수 있는 動力費 割引의 利益을 最大限 획득하는 것이 중요하다.

일반적으로 軟質 原料가 washing 되기 前이나 硬質 原料가 crushing 되기 前에는 貯藏을 하지 않는다. slurry는 한 주일 정도 공급할 수 있는 能力이 있어야 할 것이다. 그리고 粉碎된 硬質 原料는 개방된 貯藏所에 貯藏될 수 있으나 비오는 날이면 뚜껑을 덮어야 한다. 이 原料粉의 混合能力과 貯藏能力의 合計는 한두주일 정도 供給할 수 있는 것이어야 할 것이다.

過去에는 크링카가 자주 개방된 貯藏所에 貯藏되었었고 그밖에 또 뚜껑있는 silo에 貯藏되었

지만 오늘날에는 약 두주일 정도는 꼭 막힌貯藏所에貯藏되고 있다.

시멘트는乾燥狀態에 놓여 있어야 하고大氣中에濕氣로부터 air-setting 됨을 막기 위하여 가끔적空氣와의接觸을 피해야 한다. 그러기 때문에防水는勿論 거의空氣와密閉된 silo에貯藏되고 있다. 그러나工場立地나流通體系에 따라크게 다르겠지만長期間貯藏은 좋지 않으며普通 2週日生産分程度의 저장능력이適合하다. rotary kiln을 그의能力的의半以下로生産하도록稼動시키는 것은 거의非經濟的이거나不適合하다. 때문에非需要期나惡天候로 인하여시멘트需要가 오랫동안減退될 경우에 달리 취할방도란貯藏能力에 여유가 있다면需要가回復될 때까지 크링카를非常貯藏所에貯藏하였다가需要가上昇할때 크링카를粉碎해야하며 그렇지 못할 경우에는 kiln을 정지시킬 수 밖에 없다.

〈그림 4〉는日産 980 屯 能力을 가진 한基의 Lepol kiln을使用하고 있는實工場의生産過程을例示한 것이다. 그工場의配列이〈그림 6〉에 나타나 있으며南向에서 본 조감도가〈그림 5〉에 나타나 있다.石灰石採石場이工場 가까이 있으나 shale은 13km나 떨어져 있어道路로運搬하고 있다.

鐵道, 道路, 船舶을利用하는 bulk에 의한시멘트輸送이 크게發達하게 되었다. 따라서시멘트工場에서 멀리 떨어져 있는市場에도供給할 수 있게 되었다. 이는工場의大型化에對한必要性을 촉진시켰으며 그렇게 함으로써近代技術이 이룩해 놓은大單位施設을 설치할 수 있게 되었다. 예를 들면 하루 2,000 屯以上을生産할 수 있는 kiln이設置된 것이다. 20年前에는 길이 100m, 直徑 3m, 日産 550 屯의濕式 kiln이 크다고 했는데 오늘날大單位 kiln은 길이 200 m, 直徑 6 m로 日産 2,000 屯에 달하고 있으며 grinding mill은 1,200 hp가 크다고 했는데 오늘날에는 6,000 hp에 달하고 있다.

規模에 있어서의 이러한增加는生産量에對한屯當所要資本과運轉費를切減시켜 주고 있으며또時間當勞動力과監督費를切減시켜주고 있다.

오늘날機械調整裝置에 의하여中央調整室에서各部門別工程 심지어는工場全體까지도完全

히統制할 수 있으며 이는 또工場實驗室과連結되었다. 이러한 것들은 operator들에게操業의最適狀態를維持하도록 하는데 도움이 되고 있다. 即 operator는 그와 같은統制에 의하여 그들이選擇한 여러가지 응결條件을固定시켜주고 일정한水準에서 이들을繼續維持시킬 수가 있는 것이다. 오늘날全工場을通하여廣範圍하게調整할 수 있는 Instrument를購入할 수 있지만作業者에게 그가理解하고 있는 것보다 더 많은情報나 혹은 전혀 사용해본 일도 없는 것에對한情報를提供하려는 일은 삼가야 될 것이다.自動燃燒調整裝置가適用되었지만 때때로關係된 많은變數는 만족할 만한統制를 어렵게 하는 수가 있다. 一關된 컴퓨터制度가原料를準備하는데 있어서나燒成過程에 있어서의 여러가지機能을連結시키도록 마련되었지만複雜함과 코스트를 정당화시킬 수 있는 전망은 보이지 않고 있다.

原料를分析하는分野에 있어서도 상당한發展이 이루어져서 operator가 직접原料配合를 보다 빨리 그리고 자주完全하게分析하기 위하여現在の通常的인化學試驗方法 대신에色度計와 X-ray分析方法 및 기타技術 등이 이용되고 있다.

위에서言及한各製造工程에 있어서 여러段階別로使用될 수 있는機械裝置의選擇範圍는廣範圍한 것이다. 各方法마다 모두 열렬한 주장자가 있지만 하나의目的을達成하기 위한同等한 좋은 방법은 여러 가지가 있는 것이다. 따라서 그選擇은 아마도 검토해야 할 여러 가지 조건 가운데서는所要資本과維持費 및機械에對한效率이나特別한信賴度를 측정하는데 있어서의 개인적經驗이나判斷에 의하여決定될 것이다. 결국唯一한最善의 방법은 있을 수 없는 것이다.

原料의準備, 燒成, 冷却 및 크링카의粉碎에關한各段階에 걸쳐使用되고 있는裝備에對한說明은本시리즈를通하여次號에서 차례로 기술하겠다.

#### 參 考

- 註 1. A.C. Davis : Portland Cement의 百年史. Concrete Publications Ltd 1924.
- 註 2. C.E. Reynolds : 日本의 시멘트工業. Cement Technology, 第1輯, 第5卷 1970 9/10月號 159페이지.