

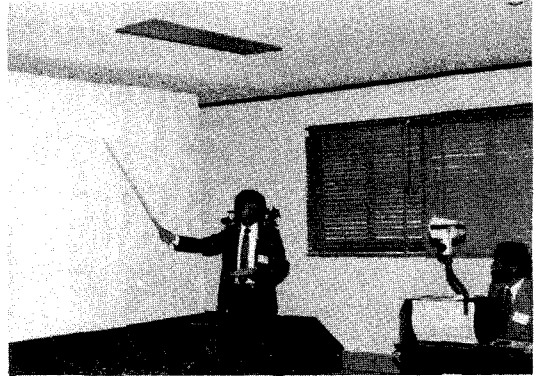
시멘트 燒成爐의 稼動始作時의 問題點에 對하여

金 松 虎

〈東洋세멘트 三陟工場〉

1. 序 論

濕式이나 半乾式 等 比較的 生産能力이 작은 從來 燒成爐의 境遇는 耐火煉瓦의 壽命이 길어 큰 問題가 되지 않았으나 SP 및 NSP 等으로 燒成爐가 大形化함에 따라 여러가지 要因들로 因해 耐火煉瓦壽命이 짧아지게 되고 反面에 運休로 因한 損失은 더욱 늘어나게 되어 各業體들은 耐火煉瓦의 壽命에 큰 關心을 갖게 되었다. 耐火煉瓦의 壽命을 決定하는 要因들은 다음과 같은 것들을 들고 있다.⁶⁾⁷⁾



- (1) 使用하는 煉瓦의 種類, 形態 및 築爐方法
- (2) 燒成爐의 運轉條件(加熱昇溫, 原料投入, 正常狀態運轉 및 稼動停止)
- (3) 投入原料 種類
- (4) 燒成爐의 機械的 安定度

煉瓦에 對한 問題는 煉瓦製造業體들에 依해 많은 發展을 보아 日本의 境遇 1950年代의 High alumina 質 煉瓦에서 1960年代 以後의 高純度 Direct bond Mg-Cr 煉瓦 그리고 最近에는 Spinel 煉瓦가 出現하게 되었다.⁹⁾ 特히 石炭混燒에 따른 問題를 克服하기 위해 만들어진 Spinel 煉瓦는 實際操業에서 轉移帶(transition zone)의 境遇 Mg-Cr 煉瓦에 比해 壽命이 40%~100% 더 길다는 것이 立證되고 있으며 燒成帶에는 그 使用에 對한 效果가 檢討되고 있는 中이다.⁹⁾

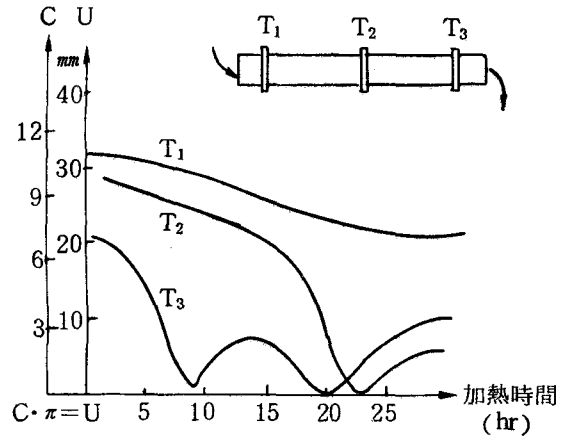
燒成爐에 投入되는 原料는 強한 鹽基性이기 때문에 高溫에서는 煉瓦에 強한 化學的 侵蝕作用을 하게 된다. 또한 燒成帶에서 生成되는 20%~25% 크링카 液狀도 煉瓦에 損傷을 주기 쉽다. 成分上으로 불 때 鐵率($IM = A/F$)과 硅酸率($SM = \frac{S}{A+F}$)이 增加하면 크링카의 侵蝕이 增加하게 되고 이러한 크링카 侵蝕을 막기 위해서는 $IM = 1.8 \sim 2.2$, $SM = 2.5 \sim 3.2$ 로 維持하여야 한다. 特히 混燒로 因해 생기는 熔融이 빠른 灰

분과 不完全 燃燒의 境遇 生기는 一酸化 炭素(CO)가 煉瓦에 惡影響을 끼치게 된다.³⁾

그밖에도 Tire, Roller, Shell 等 機械的 安定度도 煉瓦壽命에 影響을 미치게 된다. 特히 Tire 等에 對한 安定度는 ovality 로 나타나게 되는데 이 ovality 는 煉瓦, shell, Tire 의 熱膨脹 程度의 差異와 Tire 部近의 荷重에 依해 生기는 Tire 의 틈새[Clearance(C) 또는 Creep(V)]로 나타내지며 Heating - up 時 典型的인 Tire 틈새는 <그림-1>과 같이 나타난다.⁴⁾

이 때 Tire 틈새가 0이 되는 地點에서 는 煉瓦에 힘이 加해지게 되므로 Shell plate 에 冷風을 供給하는 方法 等을 써서 許容 ovality 를 維持하여야 한다.

燒成炉正常運轉의 境遇는 原料 成分과 量의 變動 熱負荷의 變化로 煉瓦壽命이 短縮되며 安定된 運轉의 境遇에도 燒成炉 回轉에 依해 煉瓦가 原料 및 gas와 週期的으로 接觸하게 되므로 週期的인 溫度差가 400°C 程度가 되어 煉瓦壽命에 惡影響을 주게 된다.



<그림-1> 키른 稼動 始作時의 Tire 틈새

그러나 이러한 要因들은 明白하거나 어느 程度 改善策이 있지만 燒成炉 稼動始作 (start - up) 問題에 있어서는 아직도 會社에 따라 意見差異가 많은 實情이다. 昇溫 加熱(heat - up)에 있어서 從前에는 燃料費가 싸고 燒成炉가 작아 加熱時間을 길게 잡아 徐徐히 加熱하였으나 키른의 生産能力이 日産 7 萬톤을 바라볼 程度로 大形化하고 原油價가 30 弗을 넘어선 高油價 時代인 最近에는 Heat - up 時間이 길면 燃料費가 큰 問題가 될 뿐만 아니라 生産量에 依한 損失도 커져서 煉瓦에 損失을 주지 않는 範圍에서 燃料을 적게 써서 키른을 Heat - up 시키는데 큰 問題가 擡頭되고 있는 實情이다.⁵⁾

또한 生産能力이 커져서 原料投入 始作에서 正常狀態까지 相當한 時間이 걸리게 되므로서 이러한 긴 非正常狀態가 煉瓦에 미치는 惡影響이 커지게 된 것은 더 말할 나위도 없으나 아직도 原料投入에 對한 基準도 會社에 따라 相當히 다르다.

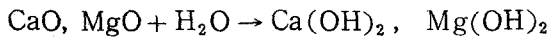
따라서 여기서는 이러한 問題點을 解決하기 위하여 昇溫加熱機構(Heat - up mechanism)에 對한 理論的인 考察과 Heat - up 過程에 對한 理論的인 接近 現在까지 提示되고 있는 여러가지 Heat - up 基準 實際操業에의 比較를 通해 合理的인 Heat - up 基準을 提示하고 더불어 原料投入問題도 다루어 보고자 한다.

2. 理論的 考察

2-1 昇溫加熱機構(heat-up mechanism)

키른에 原料를 投入하려면 Shell, 支持하는 Tire, Roller 와 煉瓦를 充分히 제 技能을 發揮할 수 있도록 加熱하여야 한다. 키른 Heat-up 時 煉瓦에 일어나는 現狀은 煉瓦의 種類에 따라 다르나 普通 使用하고 있는 Mg-Cr 煉瓦의 境遇는 다음 過程을 거친다고 알려져 있다.⁶⁾

(1) 50°C에서 300°C 사이에는 煉瓦의 水和가 일어난다.



따라서 實際的인 面에서 Mg-Cr 煉瓦의 水和를 막으려면 50°C-300°C 사이에는 될 수 있는대로 빨리 加熱하여 빨리 이 溫度範圍를 벗어날 수 있도록 하여야 한다.⁹⁾

(2) 600°C에서 800°C 사이에서 煉瓦의 結晶水가 날아가고 600°C에서 1,200°C 사이에서 煉瓦의 化學結合력이 弱화된다.

(3) 여러가지 膨脹 및 收縮現狀이 일어난다.

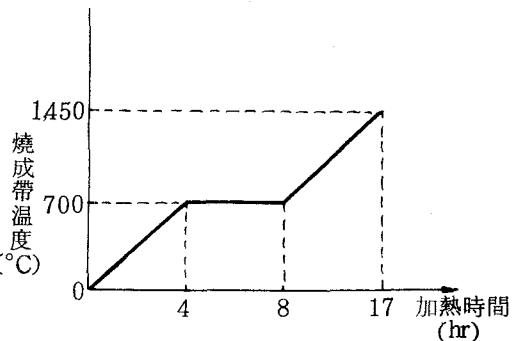
(4) 堅固한 coating이 附着될 수 있는 煉瓦의 熱的 條件이 마련된다.

2-2 現在까지 提示된 加熱速度 基準

키른의 加熱速度 基準은 各 煉瓦製造 會社에 따라 또 提示하는 사람에 따라 相當히 다르게 提示되고 있다. 물론 使用된 煉瓦의 種類 加熱하는 燃料의 種類 等에 따라 加熱時間이 달라지게 된다. 그 中에 몇가지 意見을 提示하면 다음과 같다.

Czech는 Lovinit IIS 煉瓦를 使用한 境遇 1,200°C까지는 6°C/min(360°C/hr)의 速度로 그 以後 1,600°C까지는 3°C/min(180°C/hr)로 加熱하여 全體加熱時間을 8時間 以內로 加熱하여야 한다고 하였다.⁶⁾

Konopisky는 350°C까지 1.6°C/min (96°C/hr), Polish는 2.6°C/min(156°C/hr)로 加熱할 것을 勸하고 있는 反面 Pi-oss는 Preheater가 없는 키른의 境遇에 24~48時間동안 乾燥시킨 後 20時間 동안에 加熱을 끝내야 한다고 하였다. Lud-
era는 200°C까지 溫度를 急激히 上昇시킨 後 6~8時間內에 加熱을 끝내도록 할 것을 권하고 있다.⁶⁾



<그림-2> Dolomit werke GMBH社 加熱過程 曲線

Hotz 는 3 가지 境遇를 나누어 생각했다.⁶⁾

- (1) 燒成帶가 300°C 까지 冷却된 境遇는 8~9 時間加熱
- (2) 30 m 以下 煉瓦再築炉 境遇는 24 時間加熱
- (3) 全體 交換했을 境遇는 48 時間加熱

Peray 는 키른 shell 과 煉瓦의 熱膨脹 差異 때문에 最小限 16 時間 以上 加熱하여야 한다고 主張하는 反面⁷⁾, 美國의 煉瓦製造會社들은 1,100°C 까지 均一한 速度로 4~5 時間 동안 加熱한 後 原料를 投入한다고 勸하고 있고 다른 製造業體들은 12~16 時間 동안 加熱하여야 한다고 主張하고 있다.³⁾

獨逸의 Dolomitwerke GMBH 社에서는 Dolomite 煉瓦의 境遇 <그림-2>와 같은 加熱過程을 거치도록 勸獎하고 있다.

2-3 加熱速度의 理論的인 計算

2-3-1 Ludera의 計算⁶⁾

Ludera 는 適正의 加熱速度를 煉瓦의 熱應力과 煉瓦強度를 利用하여 概略 理論的으로 算出하려고 하였다.

即 煉瓦의 熱應力이 強度보다 셀 때는 煉瓦에 損傷을 주게 되므로 이 課題를 利用하였다.⁶⁾ 許容限界를 넘는 높은 應力이 나타나지 않을 程度의 煉瓦表面과 內部的 許容 溫度差는

$$\Delta t_z = \frac{\sigma_{ZF} 3(1-\mu)}{\alpha \cdot E} \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

이에 따른 許容最大加熱速度는

$$\Delta t_A = \frac{\Delta t_z \cdot a}{K \cdot S^2} \quad (^\circ\text{C} / \text{hr}) \quad (2)$$

加熱時間은

$$Z_{EA} = \frac{t_{BR}}{\Delta t_A} \cdot M \quad (\text{hr}) \quad (3)$$

但, σ_{ZF} = 煉瓦의 張力強度(kg/cm²)

$$= (0.12 - 0.16) \sigma_{RF}$$

σ_{RF} = 冷粗碎強度 (Load crushing strength)

μ = Poisson ratio

E = Young's modulus ($0.1 - 1.1 \times 10^6$ kg/cm²)

a = 熱擴散 係數 (0.001 - 0.003 m²/hr)

K = 形態因子 (平板의 境遇 0.5)

S = 煉瓦 두께 (m)

그러나 이境遇 式의 過程에서 생긴 誤謬에 依해 計算値가 實際와는 距離가 멀어 使用이 困難하다.

예를 들어 物理的 特性値가 <표-1>과 같은 Mg-Cr 煉瓦와 Spinel 煉瓦의 境遇 煉瓦內 許容溫度差, 許容 最大 加熱速度, 加熱時間은 <표-2>와 같다.

<表-1> 煉瓦의 物理的 特性値(例)

| 煉瓦 | 項目 α (1/°C) | E (kg/cm ²) | σ_{RF} (kg/cm ²) | S (m) | a (m ² /hr) | 備考 |
|--------|--------------------------|----------------------------|--|----------|-----------------------------|----|
| Mg-Cr | 11×10^{-6} | 0.15×10^6 | 450 | 0.23 | 3.0×10^{-3} | |
| Spinel | 11×10^{-6} | 0.15×10^6 | 550 | 0.23 | 3.0×10^{-3} | |

許容溫度差, 許容最大加熱速度 및 加熱時間

<表-2>

| 煉瓦 | 項目 σ_{ZF} (kg/cm ²) | Δt_z (°C) | Δt_A (°C/hr) | Z_{EA} (hr) | 備考 |
|--------|--|----------------------|-------------------------|------------------|----|
| Mg-Cr | 72 | 96 | 10.9 | 133 | |
| Spinel | 88 | 117 | 13.3 | 109 | |
| 備考 | $\sigma_{ZF} = 0.16 \sigma_{RF}$ | $\mu = 0.27$ | | M = 1 | |

따라서 M = 1, 即 許容最大 加熱速度로 加熱할 때도 加熱에 109-133時間이 消耗된다. 다시 말해 앞에서 指摘했듯이 式의 誘導에서 發生한 誤謬 等에 依해 實際와는 距離가 먼 結果가 나왔다는 것을 알 수 있다. 다른 例를 더 들자면 正常狀態에서 焦點帶의 煉瓦內部的 實際 溫度差는

$$\frac{(1,450 - 300)^\circ\text{C}}{0.23 \text{ m}} = 5,000^\circ\text{C/m}$$

인데 比해 Ludera의 計算에 依한 煉瓦內部的 許容溫度差는

$$\frac{(96 - 117)^\circ\text{C}}{0.23 \text{ m}} = 417 \sim 509^\circ\text{C/m}$$

가 되므로 約 10 倍의 差가 생겨 그 自體가 矛盾이 된다.

2-3-2 Kim의 計算¹⁾

Kim은 加熱過程中 煉瓦의 損傷을 주지 않으면서 燃料를 가장 적게 써서 願하는 狀態까지 加熱하는 最適 制御에 對하여 檢討하였다. 이를 위해 熱收支式으로 부터 熱料量 分布(G_r), 氣體溫度(T_g), 壁(煉瓦)內部溫度(T)에 對한 3個의 式을 세운 後 여러가지 過程을 거쳐 最適制御에 利用할 수 있도록 하였다. 이때 煉瓦에 對한 損傷은 煉瓦內部的 溫度勾配(Temperature gradient)에 依한 熱應力에 依해 생긴다고 假定을

하고 煉瓦内部의 温度勾配가 達成하고자 하는 最終 加熱狀態의 温度 勾配로 維持되도록 하였다. 이에 對한 자세한 數式展開는 參考文獻¹⁾ 및 1981年 第9回 시멘트 심포지움 pp. 12-19를 參照하기 바라며 여기서는 省略하기로 한다. 그런데 이 境遇 最終 狀態를 決定해 놓고 이 最終 狀態에 이르기 위한 最適加熱過程 및 加熱時間을 決定하는게 바람직하나 實際에 있어서는 이 數式을 풀기가 어려우므로 加熱時間을 變更하면서 數式을 풀어 그 結果를 比較하여 最適加熱時間과 最適加熱過程을 찾아 내도록 하였다.

여기서는 3-1章의 여러 키른中 가장 작은 A-5 키른에 對하여 加熱時間(t_r)의 變更에 따른 여러 結果를 <그림-3>에 나타냈으며 最適加熱時間이 8-14時間임을 알 수 있다.

2-4 原料 Feed-up 要領

키른에 原料를 投入하기 始作하여 正常運轉 狀態까지 이르는 동안 原料投入量을 增加시키는 方法은 여러가지가 있으나 크게 나누어 原料投入量을 一定하게 增加시키는 方法과 처음에는 原料投入 增加率을 크게 하고 原料投入量이 많아짐에 따라 增加率을 減少시키는 方法이 있는데 實際적으로는 後者の 方法이 더 좋다고 알려져 있다.²⁾

常識적으로 생각해 볼 때 投入된 原料가 滯留時間 동안 火焰 및 키른 壁體로부터 充分히 熱을 받아들일 수 있을 程度의 量이 投入되어야 하는 것은 當然하다. 만약 갑작스런 原料量의 過多로 充分히 熱을 받지 못한 原料가 뜨거워진 煉瓦와 接觸하게 되면 煉瓦表面이 急冷되어 煉瓦가 큰 損傷을 입기 쉽다.

實際로 갑작스런 加熱보다 急冷이 煉瓦에 더 惡影響을 끼친다고 알려져 있다.³⁾ 다른 面으로 생각해 볼 때 一定量의 原料를 더 投入하기 위해서는 키른을 어느 程度 過熱(overheating)시켜야 하는데 이 過熱幅이 적을수록 煉瓦에 좋은 反面 그만큼 原料投入 增加率이 느려지므로 正常狀態까지 이르는 時間이 길어지게 되어 損害를 끼치게 된다.

따라서 이 두 相反되는 目的을 滿足시키는 原料投入增加 速度를 찾아야 하는데 이에 對한 理論的인 接近은 너무 複雜하므로 앞으로의 課題로 미루기로 하고 現在까지는 實際 工程上에서 찾아내는게 바람직하다.

煉瓦에 코팅(coating)이 付着되지 않는 狀態에서는 原料와 燃料가 直接 接觸하게 되므로 化學反應에 依한 損傷을 입기 쉽다. 코팅이 붙어있는 境遇는 코팅과 煉瓦의 熱膨脹 差異 때문에 煉瓦에 損傷을 입지 않도록 하여야 한다. 다시 말해 코팅이 煉瓦保護作用을 할 수 있게 되려면 煉瓦와 코팅이 膨脹이 같아져야 한다.⁶⁾

石炭專燒를 하고 있는 키른의 境遇에는 煉瓦에 어느 程度의 코팅이 붙을 때까지는

B-C 油를 使用하는게 바람직하다. 왜냐하면 石炭中의 熔融灰分이 煉瓦에 惡影響을 끼칠 뿐만 아니라 充分히 熱을 받지 못한 基에서 石炭을 燃燒할 境遇 不完全 燃燒에 依해 發生되는 一酸化炭素(CO)가 煉瓦에 惡影響을 주기 때문이다.³⁾

3. 實際 操業 例

實際 工程上에 있어서 昇溫加熱 및 原料 Feed-up 問題를 살펴보기 위해 國內 2 個社 5 基 基의 例를 들고자 한다. 便宜上 基名稱을 A社의 3 基 基는 A-1, A-2, A-3로, B社의 2 基 基는 B-1, B-2로 區分하고, 日本의 境遇는 J社 基와 K社 基로 區分하였다.

3-1 國內 A 社

A-1, A-2 基는 Humboldt type SP 基를 NSP 基로 改造하였으며(Dimension; $4.9\text{m}\phi \times 75\text{mL}$) 生産能力은 各各 SP容量이 2,200 t/d (原料 150 t/h), NSP容量이 3,400 t/d (原料 240 t/d)이고, A-3 基는 Dopol type SP 基를 NSP로 改造하였으며(Dimension; $4.14\text{m}\phi \times 63\text{mL}$) 2,200 t/d(原料 150 t/h)이다. 各各에 對한 加熱曲線 및 原料 Feed-up 曲線은 <그림-4>, <그림-5>, <그림-6>과 같다.

加熱曲線은 Dolomitwerke GMBH 社의 階段模樣의 加熱過程 曲線을 中心으로, Hotz의 基準을 利用하여 境遇에 따라 昇溫加熱時間을 調整하고 있음을 볼 수 있다. 原料投入開始 窯口溫度基準은 $800\sim 850^\circ\text{C}$ 로 잡고 있으며 大體적으로 볼 때 昇溫加熱은 比較的 充實히 하고 있으나 原料投入 增加率이 너무 큰 傾向이 있어 煉瓦에 損傷을 줄 憂慮가 많음을 볼 수 있으며 實際는 煉瓦壽命이 他社에 비해 比較的 짧게 나타나고 있다.

3-2 國內 B 社

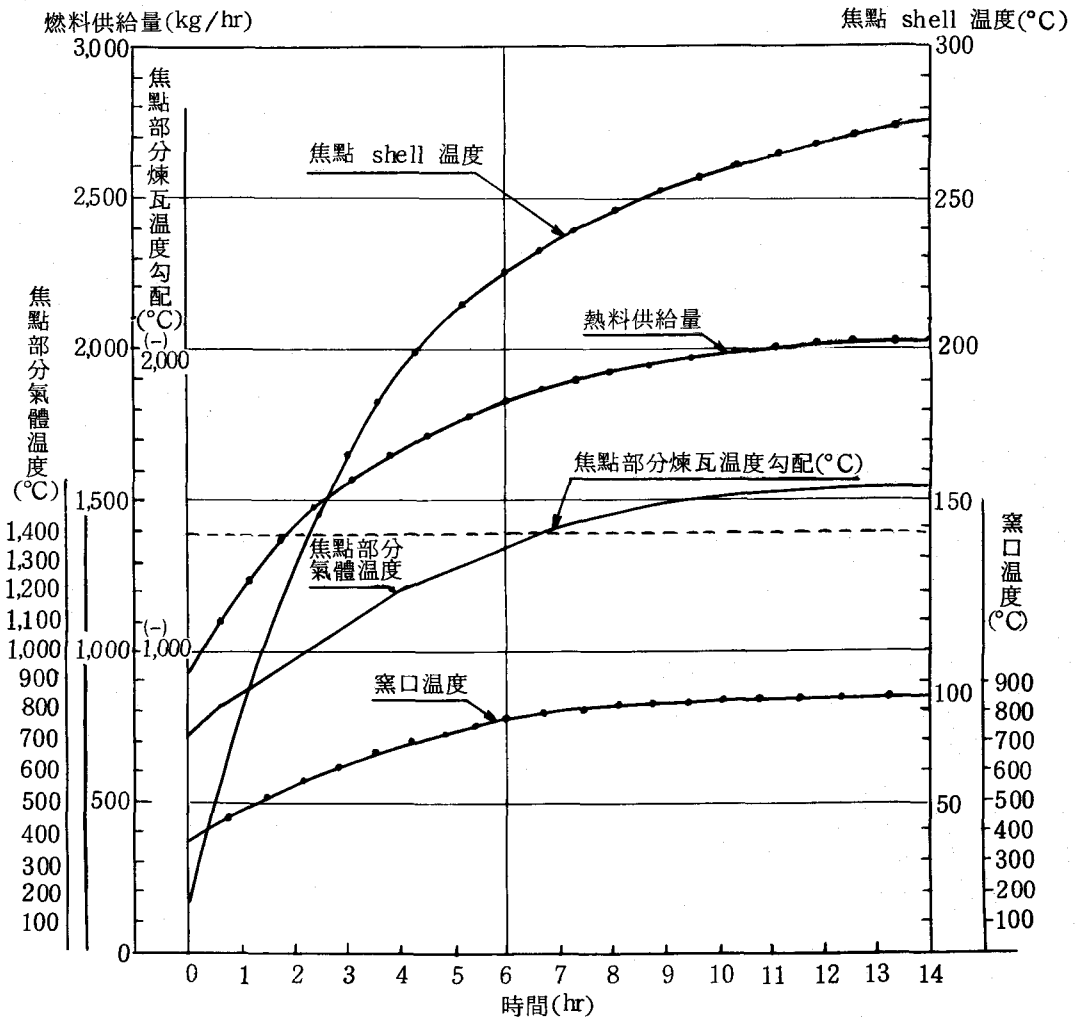
B-1 및 B-2 基는 各各 契約容量 2,550 t/d 에 現在는 3,050 t/d (原料 210 t/h)를 生産하고 있는 SP 基로(Dimension; $5.6\text{m}\phi \times 95\text{mL}$) 試運轉 當時의 加熱曲線 및 原料 Feed-up 曲線은 <그림-7>, <그림-8>과 같다.

昇溫加熱 時間은 되도록 빨리 끝내는 基準을 採擇하고 原料投入開始 基準 窯口溫度는 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 이며 原料投入增加速度는 처음은 많게 하다가 漸次 줄이는 方法을 採擇하고 있다. 原料投入量 增加率은 A社에 비해 작은 편이나 起伏이 甚한 것은 비슷한 傾向을 보여주고 있다.

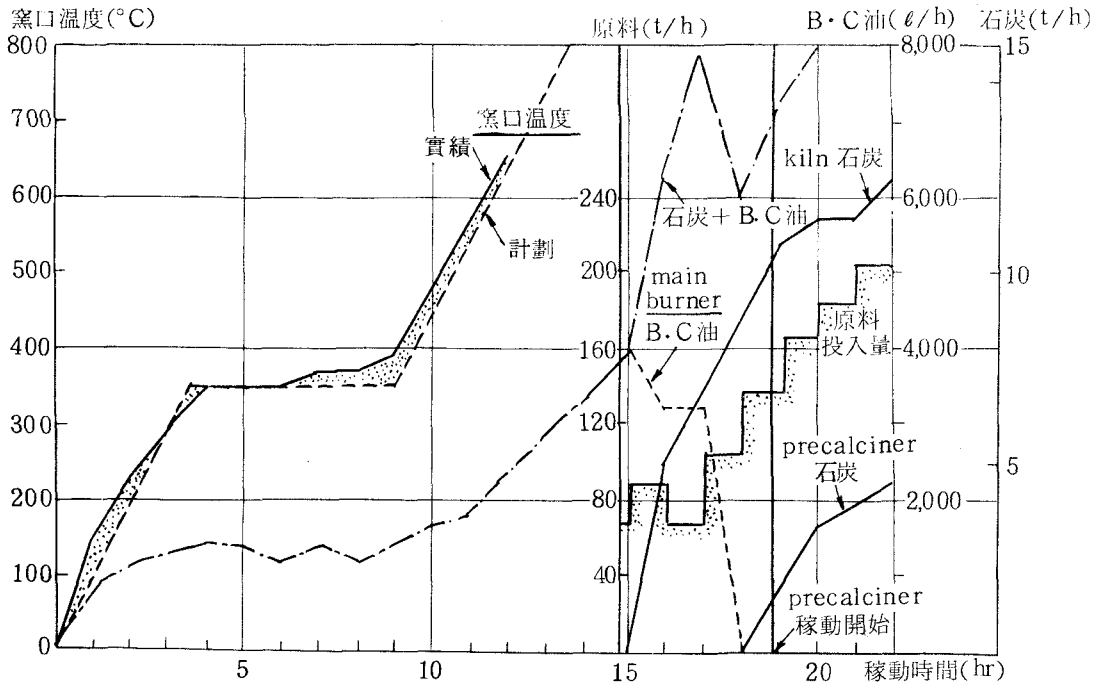
3-3 日本의 境遇

K社 2,800t/d (原料 195 t/h) 容量의 濕式을 Dopol 로 改造한 키른 (Dimension 5.2mφ×85mL)의 966年 試運轉 當時의 加熱昇溫 및 原料 Feed-up 曲線은 <그림-10> 과 같다. 여기서 昇溫加熱은 빠른 時間內에 끝내도록 하고 있으며, 原料 Feed-up 은 처음은 많이 增加시키다가 漸次 조금씩 增加시키고 있음을 볼 수 있다. 原料 Feed-up 基準曲線은 <그림-9>와 같다. 原料投入開始 基準 窯口 溫度는 750°C 程度다

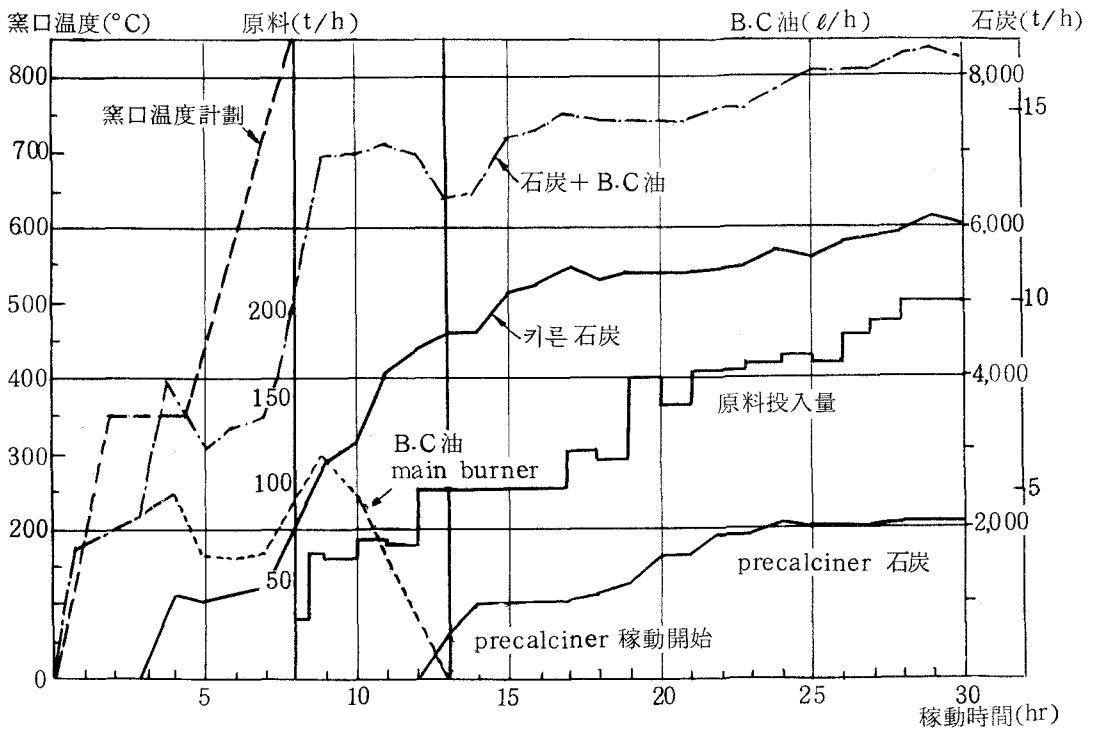
J社 키른은 3,600t/d (原料 250 t/h)의 SP 키른을 NSP로 改造하여 7,200t/d (原料 500 t/h)를 生産하고 있다. 키른 Dimension 은 5.4mφ×95 mL이다. 이 키른에



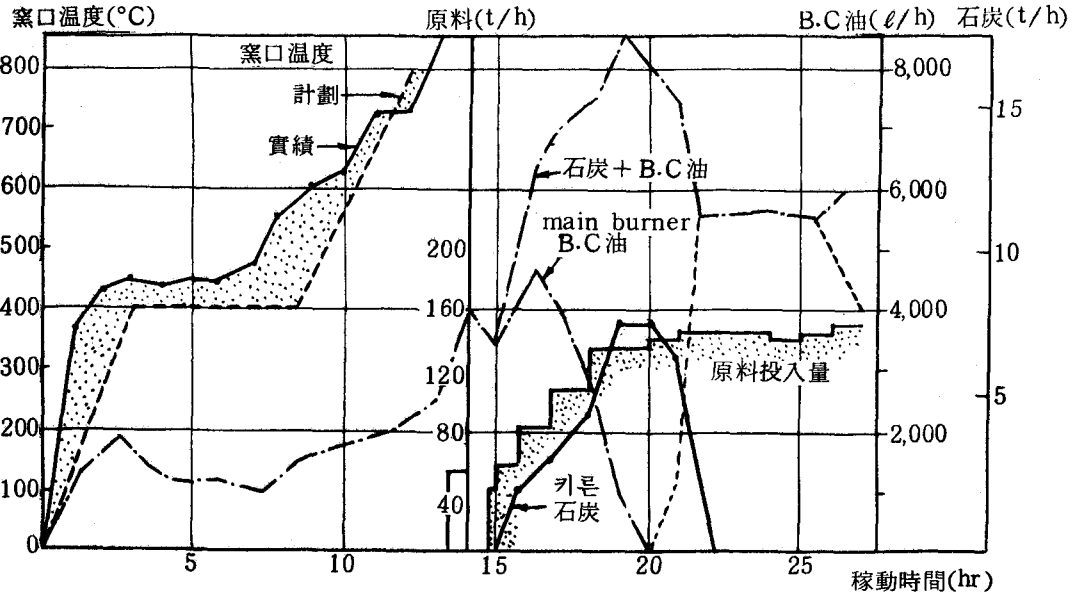
<그림-3> 키른稼動始作 最適制御曲線



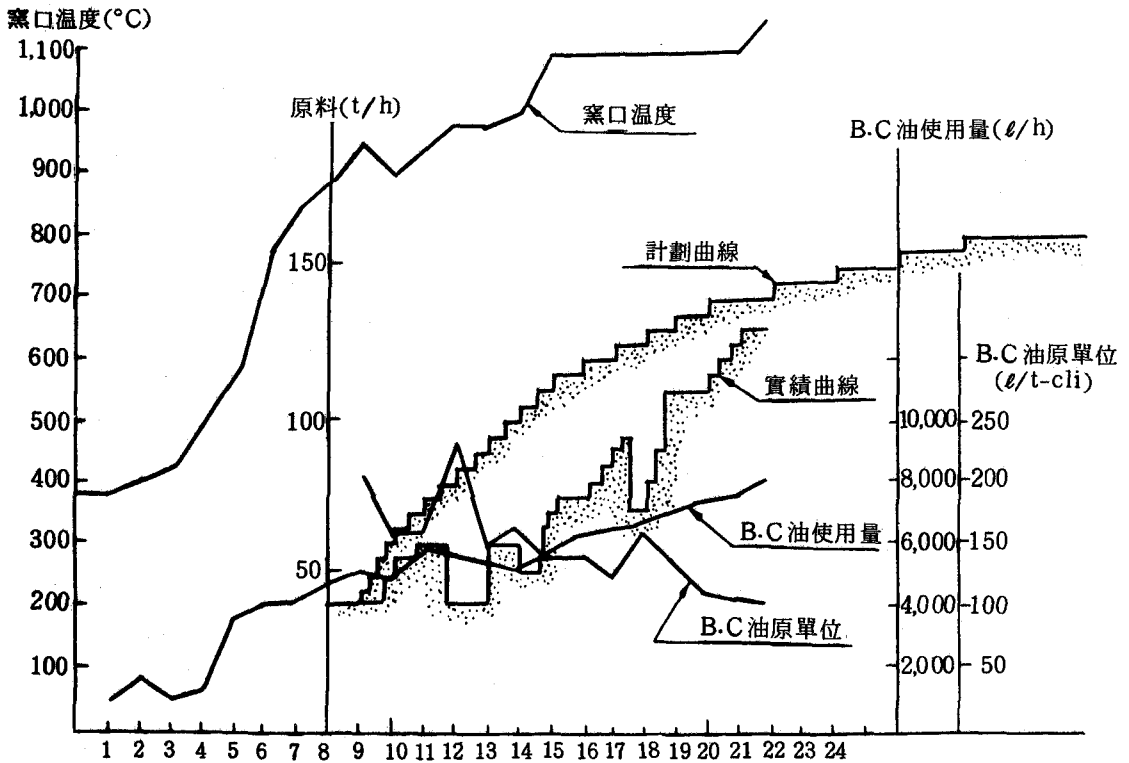
〈그림-4〉 A-1 키른의 昇溫加熱 및 原料投入過程 ('82. 2. 25)



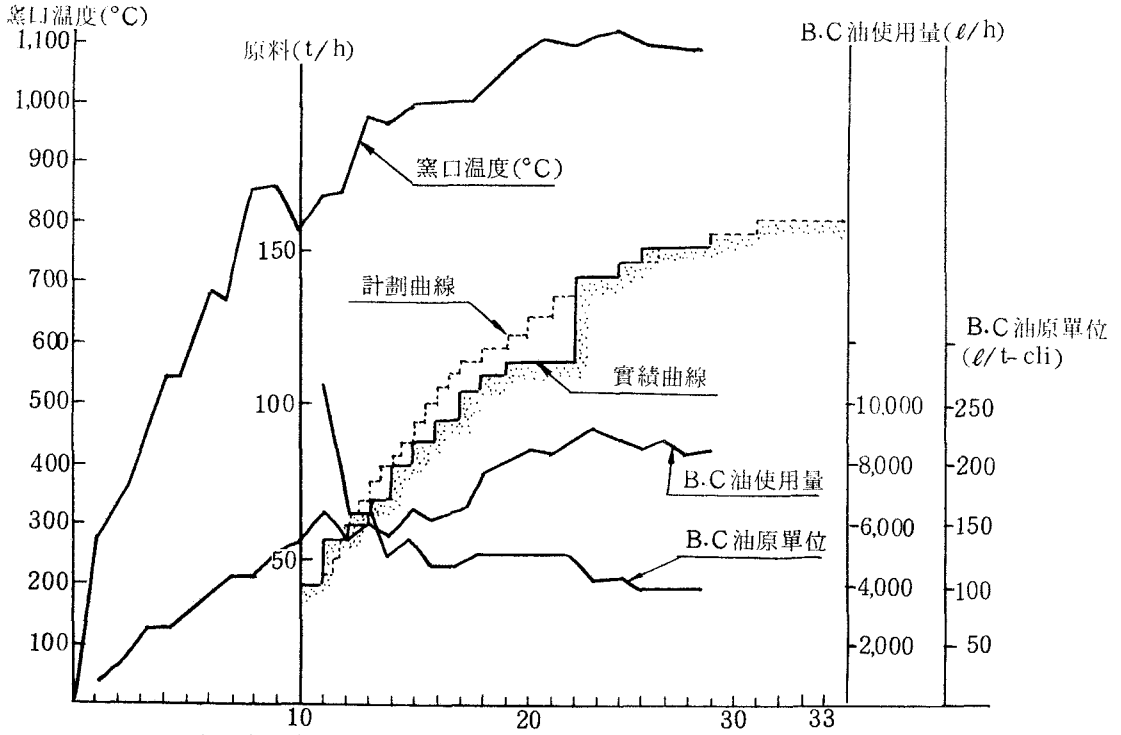
〈그림-5〉 A-2 키른의 昇溫加熱 및 原料投入過程 ('81. 12. 29)



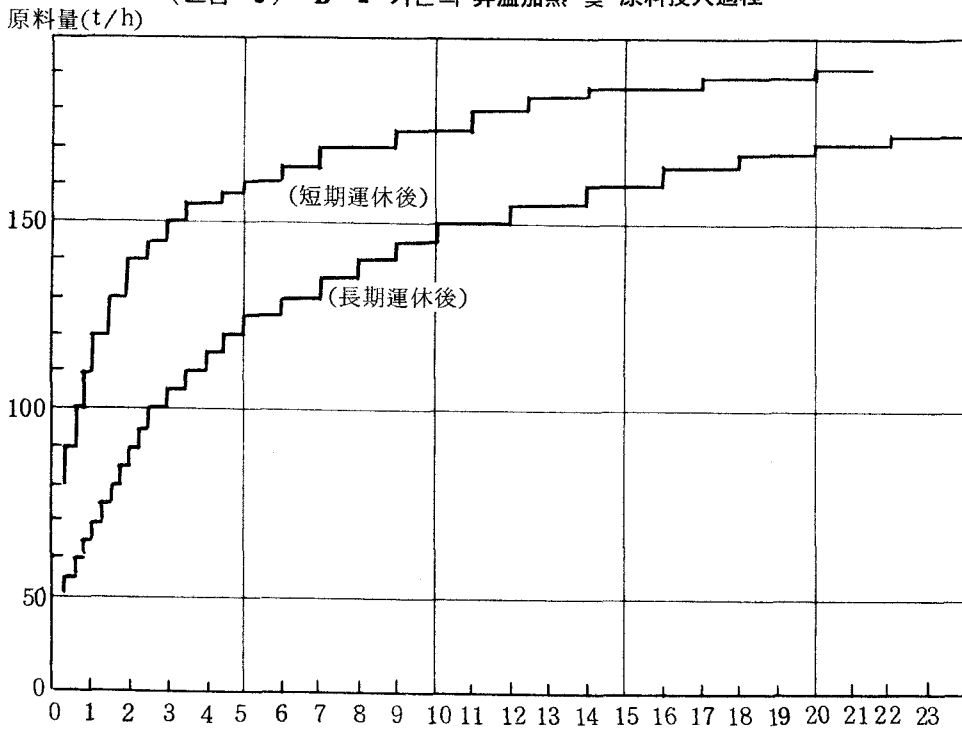
<그림-6> A-3 키른의 昇溫加熱 및 原料投入過程 (81.12.17)



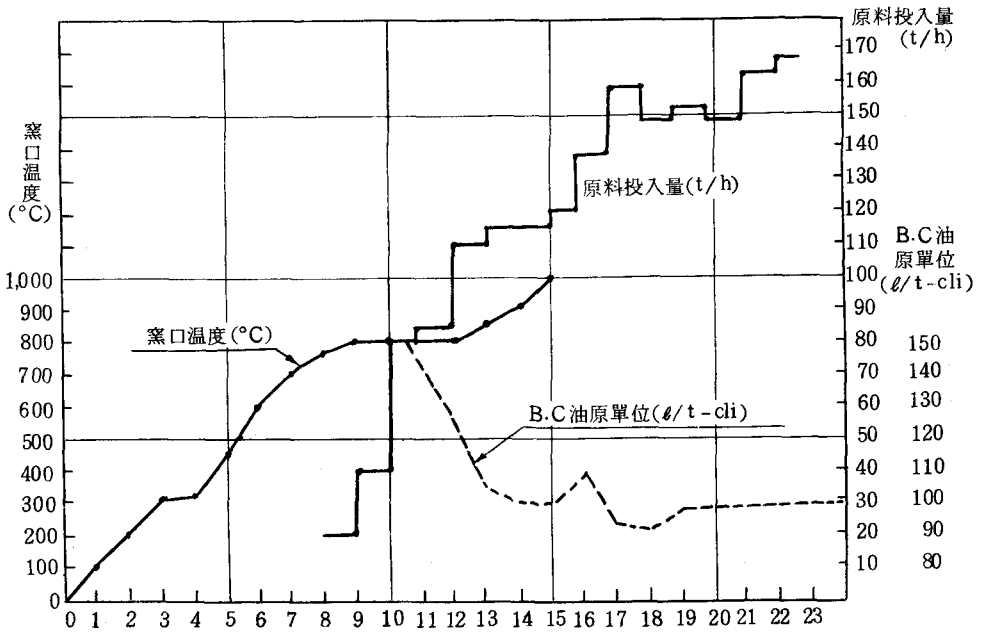
<그림-7> B-1 키른의 昇溫加熱 및 原料投入過程



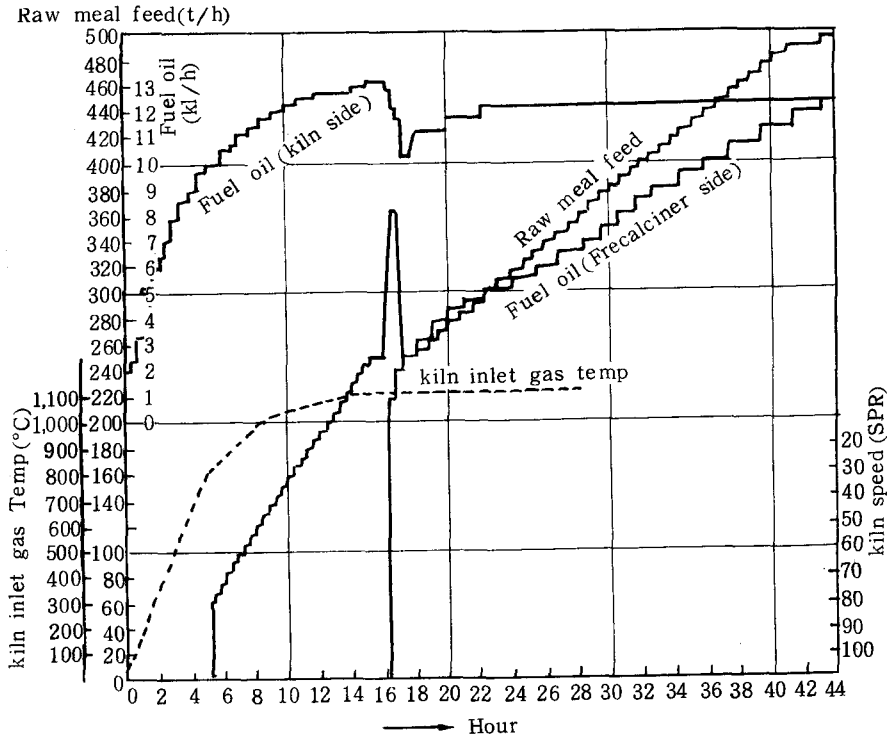
〈그림-8〉 B-2 키른의 昇溫加熱 및 原料投入過程



〈그림-9〉 日本K社의 原料投入要領



< 그림-10 > 日本K社の昇温曲線



< 그림-11 > 日本J社 키른의 昇温加熱 및 原料投入過程

對한 稼動 始作 時 昇溫 加熱 및 原料 Feed - up 基準 公式은 <그림-11>과 같다. 實績 曲線은 없으나 이 基準 曲線을 中心으로 살펴보면 昇溫 加熱 時間이 5 時間으로 相當히 짧고 또 이 加熱 曲線이 直線에 가깝다(150°C/hr).

原料 投入 開始 基準은 窯口 溫度 800°C로 하고 있으며 原料 投入 增加率은 SP時 5 t / 15 min(20 t/h), 豫備假燒機 稼動後는 5 t / 30 min(10 t/h)로 하고 있다. 特히 같은 形態의 豫備假燒機를 使用하는 A社 키른과 比較해 볼 때 J社의 境遇는 SP로 充分히 稼動後 豫備假燒機로 稼動하고 있고 原料 投入 增加率이 相當히 낮음을 볼 수 있다.

4. 檢討 및 結論

4-1 昇溫 加熱

앞에서도 言及한 바와 같이 키른 昇溫 加熱은 各 會社에 따라 見解 差異가 많아 昇溫 加熱 時間의 境遇 짧게는 4~5 時間 길게는 24 時間 以上이 主張되고 있다. 反面에 키른의 最適 制御 理論을 導入한 計算 結果 8~14 時間 程度의 키른 昇溫 加熱이 適當한 것으로 나타났다. 그러나 實際에 있어서는 Heat - up 時 煉瓦 內部에서 일어나는 여러 가지 複雜한 現狀 即 水和, 水分 蒸發, 收縮 및 膨脹 等이 考慮되어야 하고 키른 tire, shell, roller 等の 機械的 條件이 함께 考慮되어야 하므로 簡單히 決定될 問題는 아니다.

實際 操業에서 言及된 各 키른의 昇溫 加熱 및 原料 投入 過程을 比較한 結果를 <표-3>에 要約하였다. 이 表를 보면 키른 總 昇溫 加熱 時間은 5~14 時間이 基準이고 大部分 直線 形態로 加熱하고 있으나 國內 A社의 境遇 階段 形態를 取하고 있다. 이러한 階段 形態의 加熱은 Mg-Cr 煉瓦의 境遇 일어나는 水和 反應을 막기 위해 50~300°C 사이에서 急激히 加熱한 後 그 餘熱을 利用하여 그 다음 段階는 徐徐히 加熱하기 위한 것으로 推定되며 이 境遇에는 直線 形態 加熱보다 加熱 時間이 좀더 길어야 할 것이다. 그러나 昇溫 加熱 時間이 짧을 境遇 水和 反應이 充分히 防止될 수 있을 程度로 加熱 速度가 빠를 것으로 생각되므로 구태여 이러한 階段 形態의 加熱을 할 必要가 없을 것으로 보인다.

結論적으로 볼 때 總 昇溫 加熱 時間은 10 時間을 基準으로 煉瓦의 築 爐 程度 煉瓦 種類 等を 考慮하여 약간의 調整을 하는 것이 바람직하고 이 境遇 直線 또는 <그림-3>과 같이 위로 볼록한 曲線 形態로 加熱하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

4-2 原料 Feed - up

原料 投入 開始 基準 窯口 溫度는 800~850°C 最初 原料 投入 量은 50~60 t/h 原料 投

入 增加速度는 5t/15 min 程度를 基準으로 하되 처음에는 增加速度를 크게 하다가 漸次 줄이는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

또한 昇溫加熱時보다 原料投入時에 煉瓦에 損傷을 입기가 더 쉬우며 特히 石炭燃焼 키른의 境遇 B, C 油로 充分히 燃焼하면서 煉瓦에 어느 程度 coating 이 形成되고 키른 運轉이 安定된 後 石炭專燒를 하여야 한다.

各 키른昇溫加熱 및 原料投入過程 比較表

< 표-3 >

| 項目 | | 會社 키른 | | 國內 A 社 | 國內 B 社 | 日 本 | | 備考 |
|------------|--------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|--------|
| | | A-1, A-2 | A-3 | B-1, B-2 | K 社 | J 社 | | |
| kiln spec. | Dimension | 4.9mφ × 75mL | 4.14mφ × 63mL | 5.6mφ × 95mL | 5.2mφ × 85mL | 5.4mφ × 85mL | | |
| | Type | NSP | NSP | SP | SP | NSP | | |
| | 容量(t/d) | SP; 2,200 NSP; 3,400 | SP; 1,300 NSP; 2,200 | 3,050 | 2,800 | SP; 3,600 NSP; 7,200 | | |
| 昇溫加熱 | 總昇溫加熱時間 | 8-14 hr | 12 hr | 8-10 hr | 8 hr | 5 hr | | 窯口溫度基準 |
| | 加熱速度(°C/hr) | (100-175) →(등온가열) →(80-130) | (130) →(등온가열) →(100) | 90-100 | 90 | 150 | | |
| | 加熱形態 | 階段式 | 階段式 | 거의 直線 | 거의 直線 | 直線 | | |
| 原料投入 | 原料投入開始基準窯口溫度 | 850 | 800 | 800~900 | 750 | 800 | | |
| | 最初投入量(t/h) | 60 | 50 | 40 | 長期運休時; 50 短期運休時; 80 | 60 | | |
| | 增加率 | 基準 5t/15min | 基準 5t/15min | 最初 5t/15min 最終 5t/2 hr | 最初 5t/15min 最終 5t/2 hr | SP; 5t/15min NSP; 5t/30min | | |
| 備考 | | | | | | 計劃曲線基準 | | |

< 參考文獻 >

- 1) 金松虎, “乾式 시멘트 燒成爐의 模寫 및 同特性 解釋”, 韓國科學技術院碩士學位論文, 1981
- 2) 朴炳哲, “시멘트 製造工程管理를 위한 工場 實驗研究”, 雙龍洋灰, 서울, 1970.
- 3) Duda, W H., “Cement Data Book”, 2nd Ed, Bauverlag GMBH, Wiesbaden and Berlin, 1977.
- 4) Enri, H., “Deformations of Rotary kiln and their effect on refractory Lining”, WORLD CEMENT TECHNOLOGY, PART I, 295-302 (Oct., 1979), part II, 347-

- 351.(Nov., 1979)
- 5) Künnecke, M. and H. Heilmann, "Refractory Lining of the Burning zone in Coal-fired rotary Cement kilns", ZEMENT-KALK-GIPS, 34, 1981.
 - 6) Ludera, L. M., "Considerations on the Heating - up of Rotary kilns for the first time", ZEMENT-KALK-GIPS, 2, 83-88 (1981), 4, 82-85 (1981).
 - 7) Peray, K. E. and J. J. Waddell, "The Rotary Cement kiln", Chemical Publishing Co. Inc., New York, 1972.
 - 8) 種村文教, 本多徹, "セメントロータリーキルンにおけるスピネル質 鹽基性 煉瓦の適正と使用実績", 耐火物, 32, 479-486 (1976).
 - 9) "戰後 日本 시멘트 産業", 韓國洋灰工業協會, 1974.