

시멘트燒成用 石炭버너에 關한 考察

金 松 虎

〈東洋 세멘트工業(株) 企劃室係長〉

I. 序 論

重油를 石炭으로 代替함에 있어서 初期段階에서는 石炭 粉碎, 貯藏, 輸送 등에서 發生할 수 있는 爆發을 防止하기 위한 安全性에만 거의 모든 關心이 쏠려 있었으나, 이러한 問題가 거의 解決되었다고 보여지는 現時點에서는 從前에 主로 使用되던 重油에 比해 石炭이 갖는 特性을 理解하고 이를 工程에 活用하여 效率을 높이고자 하는 것이 바람직할 것이다.

重油에 比해 石炭이 갖는 特徵으로는 우선 앞에서 指摘한 바와 같이 石炭의 粉碎, 貯藏, 輸送 등에서 發生할 수 있는 爆發可能性을 들수 있겠고, 두번째는 成分上의 差異를 들수 있겠다.

즉, 石炭灰分의 clinker 化에 의한 影響, 各種 微量成分의 差異때문에 工程에 다른 影響을 미칠 수 있다.

세째는 燃燒機構(mechanism)의 差異이다. 이

에 대해서는 다음 장에서 다시 言及하겠지만, 이러한 燃燒機構의 差異때문에 石炭의 境遇는 重油에 比해 burner의 重要性이 더욱 커지게 되었다.

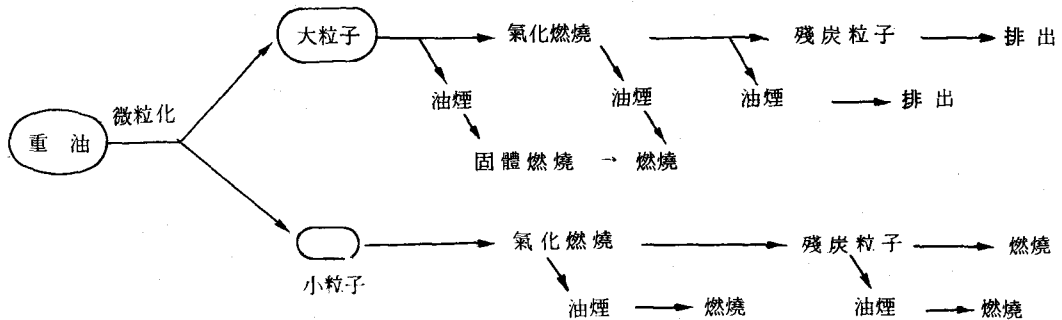
이러한 觀點에서 여기서는 石炭燃燒 特性과 重油와 石炭의 燃燒機構 差異를 살펴본後, 石炭 燃燒 特性에 맞는 burner에 對해 살펴보고자 한다.

II. 石炭의 燃燒特性

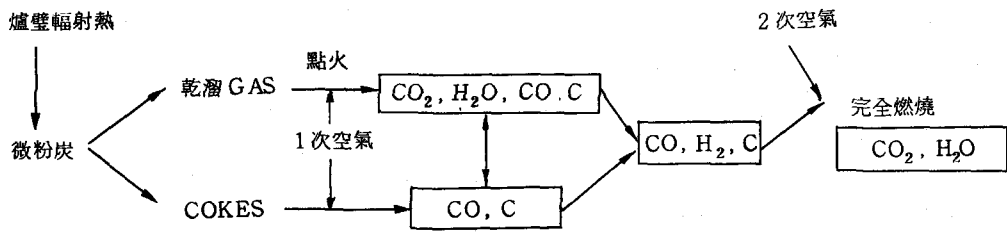
1. 重油와 石炭의 燃燒機構

一般적으로 液體 및 固體燃料의 燃燒 段階는 다음의 3段階로 나누어진다.

- 1) 蒸發燃燒—低沸點物質의 蒸發燃燒
- 2) 分解燃燒—좀더 高温에 이르러서 粒子內 高分子 炭化水素(高沸點物)가 分解氧化하여 燃燒
- 3) 固體表面燃燒—固體燃料나 殘留炭素를 含



〈그림-1〉 重油 噴霧燃燒의 모델



〈그림-2〉 微粉炭의 燃燒機構

有하고 液體燃料의 境遇 炭素固體表面에 酸素가 擴散反應하여 燃燒

重油의 境遇 噴霧 燃燒모델의 한 例를 〈그림-1〉에 提示하였다.⁶⁾

Haupt는 實驗을 통해 溫度를 增加시킴에 따른 石炭燃燒形態는 다음과 같다고 밝혔다.⁴⁾

- 1) 最初에는 固體 燃料가 乾燥된다.
- 2) 200°C 程度가 되면 CO₂, H₂O가 發生된다.
- 3) 300°C가 넘으면 기름방울이 表面에 抽出되다가,
- 4) 약 450°C가 되면 methane 이나, 種類의 것들, olefine 등이 發生한다. 이 過程은 매우 짧고 (約 1/100 秒) gas의 燃燒가 일어나며, 그後에 比較的 時間이 많이 걸리는 炭素 燃燒가 일어난다.

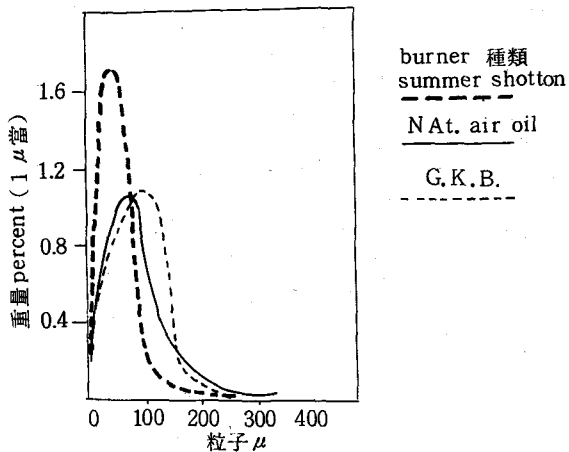
이를 버너에 依한 燒成爐內 微粉炭 燃燒 機構로 나타내보면 〈그림-2〉와 같다.⁶⁾

2 燃燒時間

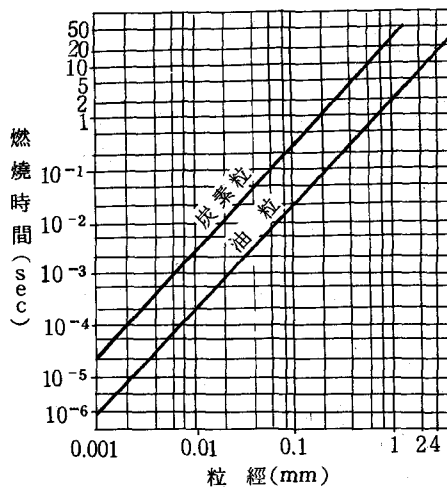
重油를 쉽게 燃燒시키기 위해서는 우선 微細한 油滴으로 만들어져야 하며, 이 油滴이 작을수록 燃燒가 쉬운것은 當然한 이치다.

버너의 種類에 따른 油滴의 粒度分布는 〈그림-3〉에 나타냈다.⁶⁾

시멘트 燒成爐의 境遇는 油滴의 最大 粒徑이 200 ~ 300 μm 以下가 要望된다. 重油의 境遇는 버너에 따라 油滴의 粒徑이 決定되는데 反해서 石炭의 境遇는 미리 粉碎된 微粉炭이 供給된다. 보통 石炭의 粉末度는 揮發分(VM)에 따라 決定되지만 88 μm 殘查가 (0.5 ~ 1.0) VM 程度면 된다고 하나 보통 0.5 VM 以下를 基準으로 하고 있다. 따라서 揮發分 30인 境遇 88 μm 殘查



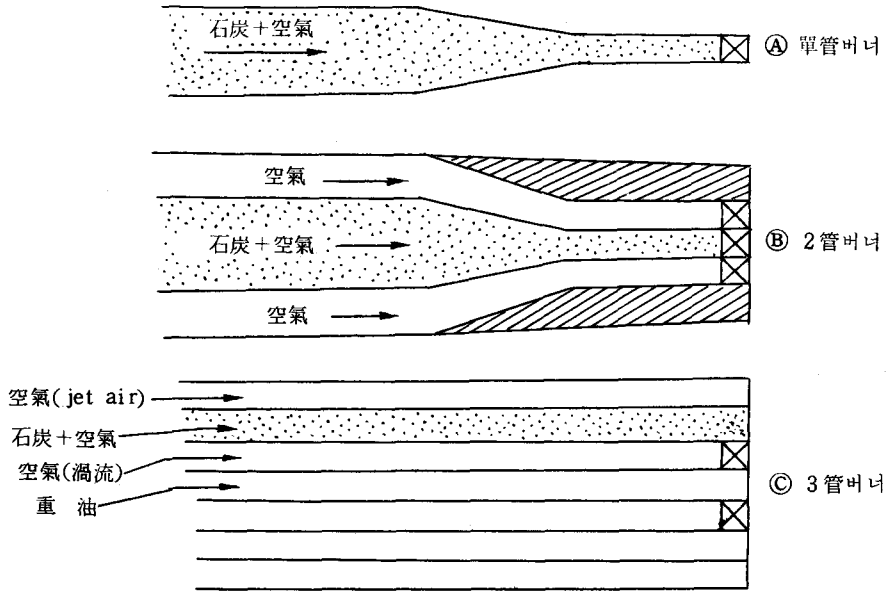
〈그림-3〉 버너에 따른 油滴의 粒度分布



〈그림-4〉 石炭 및 重油의 粒徑과 燃燒時間

는 15% 以下로 維持해야 한다.

石炭의 燃燒時間은 石炭의 化學造成 (揮發分, 灰分 등) 水分, 粉末度, 空氣溫度 등에 따라 달라 지므로 一律적으로 말하기는 困難하나 大略 石炭粉末度에 따른 石炭의 燃燒時間은 〈그림-4〉와 같다.



〈그림-5〉 石炭用 버너 概略圖

여기서 볼 수 있듯이 비록 燃燒時間이 짧긴 하지만, 石炭이 重油에 비해 같은 粒徑의 境遇 燃燒時間이 約 10 倍 程度 긴 것을 알 수 있다.

Ⅲ. 石炭燃燒用버너

石炭燃燒用 버너는 그 形態에 따라 單管(single channel) 버너, 2管(two channel) 버너 등으로 大別되며, 그 典型的인 形態를 〈그림-5〉에 나타냈다.

1. 單管 및 2管 버너

單管 및 2管 버너의 境遇는 nozzle 吐出速度가 빠를수록 火焰이 짧아지고 致密해진다. 吐出速度는 燒成爐 直徑과 石炭質(특히 粉末度 및 VM)에 따라 달라지지만 대개 다음 式으로 나타낼 수 있다.²⁾

$$V = 13.5d + 18$$

단, V ; 버너노즐 吐出速度 (m/sec)

d ; 燒成爐 直徑 (m)

따라서 直徑 4.5 m 燒成爐의 境遇 直境 노즐 吐出速度는 約 80 m/sec가 된다. 대개의 境遇 輸送管内 流速을 30 m/sec, 노즐吐出速度는 70 ~

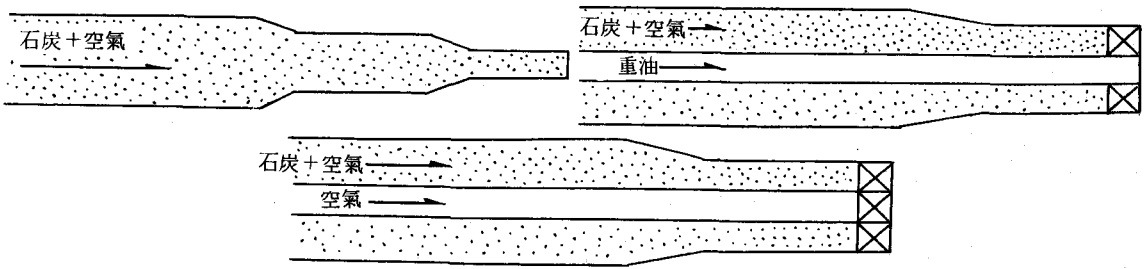
80 m/sec, 1次空氣 比率은 20 - 30 %를 維持하게 된다.^{2), 6) 7), 8)} 이때 火焰形成을 좋게 하기 위해 노즐 先端에 가이드 밴(guide vane)을 設置하게 되는데, 보통 單管 버너의 境遇는 8~15°⁹⁾, 2管 버너의 境遇는 30-70°³⁾ 程度가 좋다고 報告되고 있다.

單管 및 2管 버너는 〈그림-5〉 ④⑤에 提示한 形態外에도 그 目的에 따라 〈그림-6〉과 같이 약간 變形된 形態로도 使用되고 있다.

2. 3管 burner

Ⅱ. 2章에서 指摘했듯이 石炭은 重油에 비해 燃燒時間이 길기 때문에 重油燃燒時와 같은 火焰을 만들기 爲해서는 버너의 性能이 그만큼 좋아야 한다. 이러한 目的下에 버너에 對한 많은 研究를 하여 만들어진 것이 多管버너(multi-channel burner) 다.

〈그림-5〉 ⑥에 나타낸 3管 버너의 境遇는 重油和 石炭을 混燒할 수 있으며, 重油, 石炭, 氣體燃料를 同時에 混燒할 수 있는 4管 버너도 있다. 3管 버너의 境遇 1次空氣比率은 7-12 %로 單管 또는 2管 버너에 비해 훨씬 낮기 때문에 熱量原單位를 낮출 수 있다.^{1) 4)}



〈그림-6〉 單管 및 2管버너의 여러變形^{2),6)}

單管 및 2管 버너에서도 마찬가지로 微粉炭과 空氣比率은 대개 空氣 1 m³當 5-10 kg의 石炭을 輸送하지만, 均一한 供給을 爲해서는 5kg/m³程度가 좋다.¹⁾⁴⁾⁷⁾

石炭輸送用 空氣의 버너先端 吐出速度는 낮을 수록 좋지만 너무 낮을 境遇 逆火(back firing)가 일어날 可能性이 있고 均一한 供給이 問題가 되므로 이를 防止할 수 있을 程度에서 運轉해야 한다.

逆火가 發生할 수 있는 流速은 20~25 m/sec²⁾로 알려져 있다.

따라서 30 m/sec 程度가 알맞다고 보이지만, 實際는 12 m/sec 程度에서도 運轉하여 좋은 成果를 거두었다고 한다.⁴⁾

效率인 燒成을 爲해서는 煉瓦에 損傷을 주지 않으면서 最大限 짧은 火焰을 만드는 것이 바람직하며, 이러한 目的을 達成하기 爲해서는 위에 列擧한 여러 條件外에 最外流의 流速을 빨리 하여 火焰이 煉瓦에 닿는 것을 防止하는 同時에 뜨거운 2次 空氣가 火焰에 휩쓸려 들어 올수 있도록 하여야 하며, 同時에 火焰 内部에서는 渦流를 充分히 形成시켜 火焰 内部에서는 最大限 混合이 일어나도록 하여야 한다.

이 境遇 最外流(jet air)의 流速은 150 m/sec (靜壓 1,450 mmAq) 程度며, 最外流(jet air): 渦流=(1.5~4):1 程度가 알맞다고 한다.¹⁾ (jet burner)

IV. 結 論

石炭은 重油나 天然 가스에 비해 燃燒機構가 다를 뿐 아니라, 燃燒時間도 길기 때문에 버너의 機能이 相當히 重要하다.

石炭用 버너의 運轉條件을 다시 要約해보면 다음과 같다.

· 單管 및 2管 버너의 境遇는

- 1) 1次 空氣比率: 20 - 30 %
- 2) 輸送管内 流速: 30 m/sec
- 3) 버너 노즐 先端 吐出速度: 75 - 80 m/sec

· 3管 버너인 jet burner의 境遇는

- 1) 1次 空氣比率: 7 - 12 %
- 2) 石炭輸送 空氣流速: 30 m/sec 内外
- 3) 最外流(jet air) 流速: 150 m/sec
- 4) 最外流: 渦流 = (1.5 - 4) : 1

이고 空氣 1 m³當 5-10kg의 微粉炭을 輸送하는 것이 바람직하다.

〈參 考 文 獻〉

1. COLOGNE, E.S., "multi-jet burner for the special requirements of pulverized coal firing" Zement-Kalk-Gips, 5/82, pp. 250-252.
2. DUDA, W.H., cement data book, 2nd ed., bauverlag gmbh, wiesbaden and berlin, 1976
3. PIERI, G., "mixing correlation and industrial diffusion burner design" vol. XX VII, fasc. 4-5, la rivista dei combustibili, pp. 195-201, aprile-maggio, 1973.
4. TAUNUSSTEIN, G.E., "rotary kiln burners for solid fuels and fuel mixtures", Zement-Kalk-Gips, 8/79, pp. 386-389.
5. TAUNUSSTEIN, P.S., "multi channel burner for coarsely granular solid fuels," Zement-Kalk-Gips, 5/82, pp. 246-249.
6. "Cement 技術總論", 産業圖書(株), 東京 1980.
7. "시멘트回轉爐에 있어서 石炭燃燒의 操業經驗" Zement-Kalk-Gips 32(5), 227-229 (1979).
8. "시멘트 키른의 石炭 system으로의 轉換에 있어서 考察事項", World Cement Technogy, 11(5), 231-243 (1980). ♣♣