

CUPOLA의 最近 現況과 展望

裴 昌 國*

1. 序 言

鑄物の 歷史는 人間이 쇠붙이를 使用할 때부터 始作되었으리라 生覺되며 어떻게 熔解하면 좋은 材質의 熔湯을 손쉽게 만들 수 있을까 하는 努力은 人間の 歷史와 함께 꾸준히 發展되어 왔으며 또 繼續 發展되리라 生覺된다.

現在 鑄鐵製造에 使用되는 熔解爐로서는 cupola 誘導爐 電孤爐 反射爐 等 各種 爐가 있으나 모두 特性이 있어 이것을 改善 發展시키는 努力은 繼續될 것이다.

Cupola에서 鑄鐵을 熔解하는 것은 他爐에 없는 特徵으로 連續熔解를 하며 表面積이 가장 큰 溶滴으로 되어 赤熱된 코오크스層을 通過하여 加熱熔解는 點일 것이다. 이렇게 용해된 熔湯은 他爐의 熔湯보다 鑄造性이 좋다는 報告가 많다.

Cupola는 사람의 人體에 比喩되며 裝入材料의 均一化, 規則的인 裝入 等 사람의 健康管理와 같이 徹底한 作業管理로 良質의 熔湯을 만드는 努力이 必要하다.

Cupola 熔解의 發達は 燃料面에서 또 長時間 連續操業과 한편 均一한 成分의 熔湯을 얻기 위해 作業의 自動化와 經濟的인 面 等 여러가지 面에서 改善되어 왔으며 이를 위한 各種 管理機器 및 計測機器의 發展과 더불어 繼續 發展되리라 生覺된다.

2. CUPOLA의 最近 動向과 向題點

江原産業株式會社 常務

주물기술 Vol. 1, No. 1 (1977)

1) 水冷操業

Cupola의 過熱熔解帶를 둘러싼 爐壁을 水冷시키는 熔解法으로 이의 特徵을 보면 冷却效果에 依해 lining의 耐火物의 消耗速度가 느리며 따라서 slag 量이 적고 爐內徑의 變化가 줄어들어 爐況의 변동과 成分의 變化幅이 적어진다. 또한 連續操業 및 長時間 安定操業이 可能하며 最近 no lining cupola까지 登場하게 되었다.

水冷方法으로는 shower 式과 jacket 式의 두 種類가 있으며 각 水冷方式에 對한 標準 치수까지 各國에서 制定되고 있다. 참고로 日本의 例를 表 1,2에 나타낸다.

水冷操業에서 가장 注意해야 할 것은 適當한 冷却效果를 얻는 것이며 小型爐(內徑 500mm 이하)의 경우 爐內容積에 比해 爐壁表面積의 比率이 큰 境遇 水冷效果가 爐內의 燃燒에 影響을 주어 溫度 低下로 溶湯의 酸化가 심해지며 CO 가스가 적은 酸化性 霧圍氣 形成과 熔解帶가 水冷部 윗부분에 형성되는 등 爐況의 惡化를 가져온다. 3T/h 정도의 爐에서도 水冷部의 構造 水量 tuyere의 形態 등이 不適當할 경우 出湯溫度의 低下로 인한 材質의 惡化를 誘發하거나 Si 量의 消耗增加 코오크스 比 增加 등 좋지않은 結果를 가져오는 수가 있다.

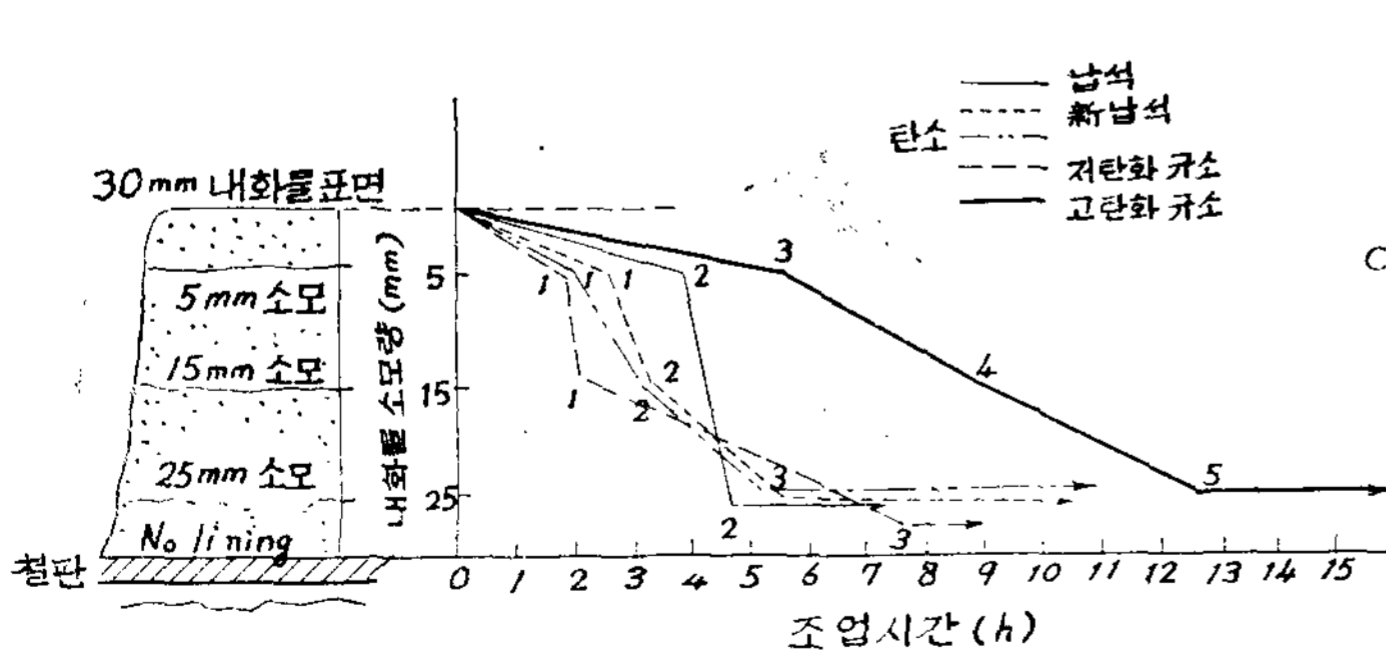
그러나 爐壁溫度 低下가 爐況에 미치는 影響이 적은 大型爐의 境遇는 材質의 均一化 耐火物과 石灰石의 使用量 減小 등의 效果를 比較的 손쉽게 얻을 수 있다. 最近 熱傳導가 좋은 黑鉛質 등의 中性耐火物을 使用해 耐火物의 消耗量을 줄이므로 해서 半永久化를 꾀하고 있으며 熱風을 사

〈表 1〉 Jacket 式 水冷 cupola 標準 치수

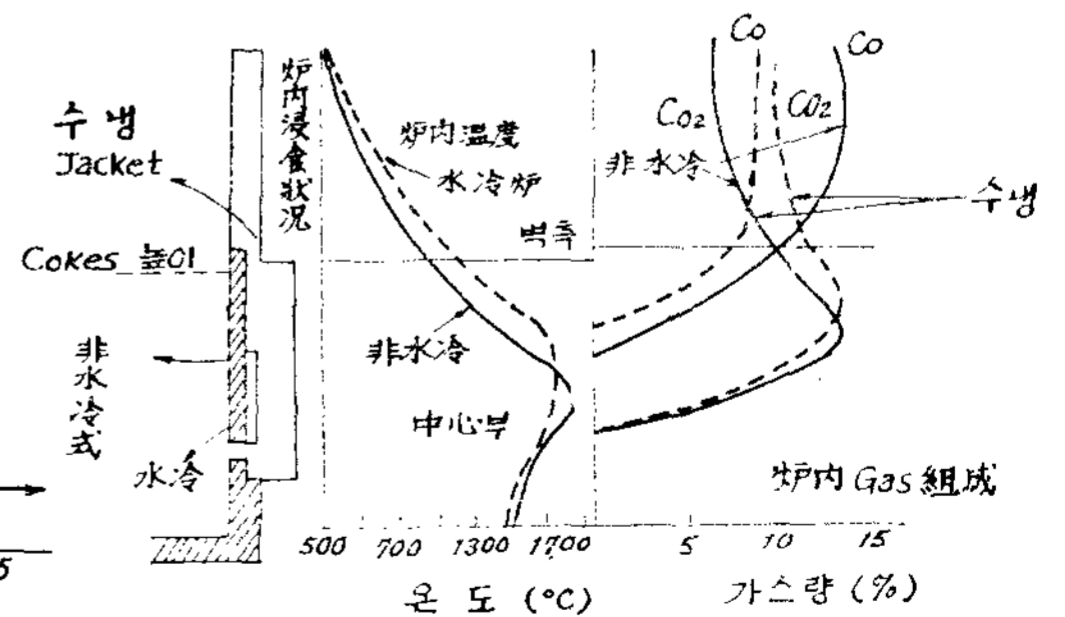
爐 徑 D (m/m)	Jacket 部				Lining 두께 (m/m)	送 水 量 (U min)
	높이 a(m/m)	폭 b(m/m)	철 판 두께 c(m/m)	pipe 徑 d(m/m)		
500	800	60-90	6	25	30-65	35
600	900	"	"	"	"	42
700	1000	"	"	"	"	49
800	1100	"	8	"	"	56
900	"	"	"	"	"	63
1000	"	"	"	"	"	70
1100	"	"	10	30	"	77
1200	"	"	"	"	"	84
1300	"	"	"	"	"	91
1400	"	"	"	"	"	98
1500	"	"	"	40	"	105

〈表 2〉 Shower 式 水冷 cupola 標準 치수

爐 徑 D (mm)	S h o w e r 部					Lining (mm)	Water 量 (l/min)	外殼의 기울기
	a (mm)	b	c (mm)	d (mm)	e			
500	1100	1	40	3	45°	30-65	125	1/100-2/100
600	1200	"	"	"	"	"	150	"
700	1300	"	"	"	"	"	175	"
800	1400	2	50	"	"	"	200	"
900	"	"	"	"	"	"	225	"
1000	"	"	"	"	"	"	250	"
1100	"	"	"	"	"	"	275	"
1200	"	"	"	"	"	"	300	"
1300	"	"	"	"	"	"	325	"
1400	"	"	"	"	"	"	350	"
1500	"	"	"	"	"	"	375	"



〈그림 1〉 각종 水冷耐火物의 소모속도와 사용시간



〈그림 2〉 水冷 및 非水冷爐의 狀況比較

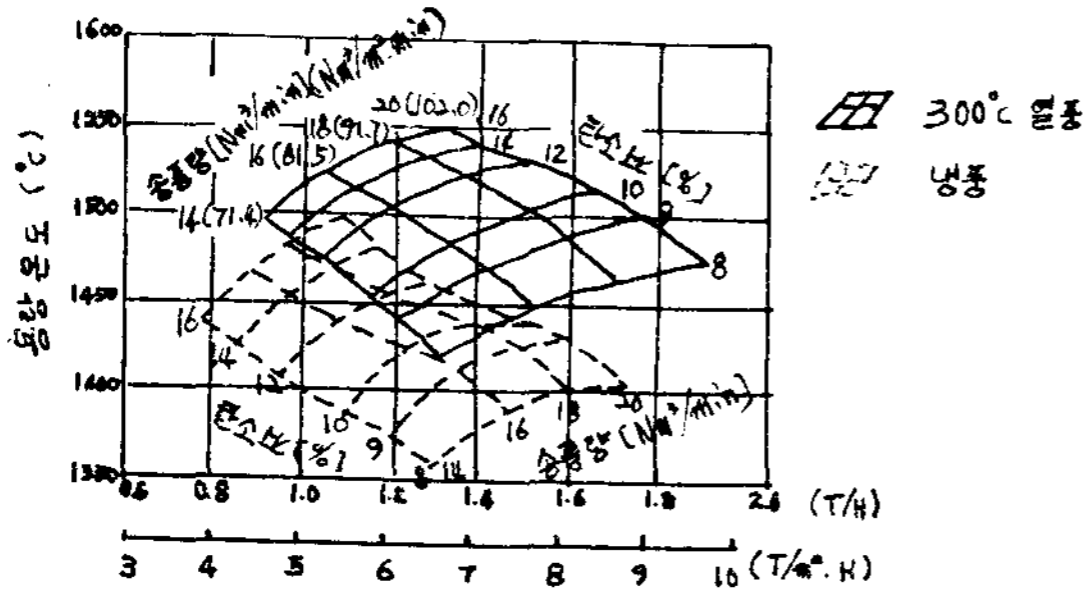
용한 no lining 의 大型爐操業도 많이 普及되 었다.

2) 熱風操業

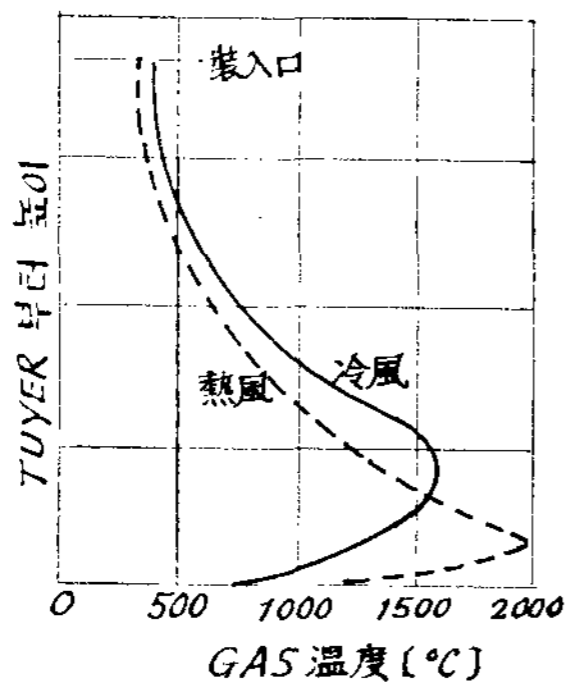
豫熱送風으로 熔解操業의 效果를 增進시키는

操業으로 이 방법의 代表的인 特徵은 코오크스 사용량의 감소 혹은 低品位 코오크스의 使用可能으로 燃料費가 절감되며 高温熔解를 쉽게할 수 있어 良質의 熔湯을 얻을 수 있고 鋼材 配合比를 높여 原材料費의 절감은 물론 良好한 機械的 性質을 얻을 수 있다.

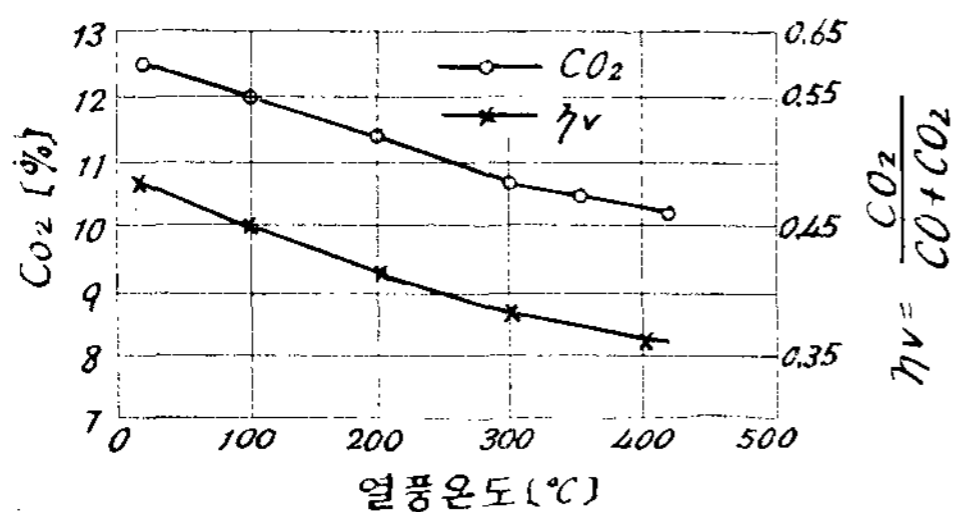
熱風操業의 爐內反應을 대강 살펴보면 tuyere 부근에서 $C+O_2 \rightarrow CO_2$ 의 燃燒反應이 활발해 發熱



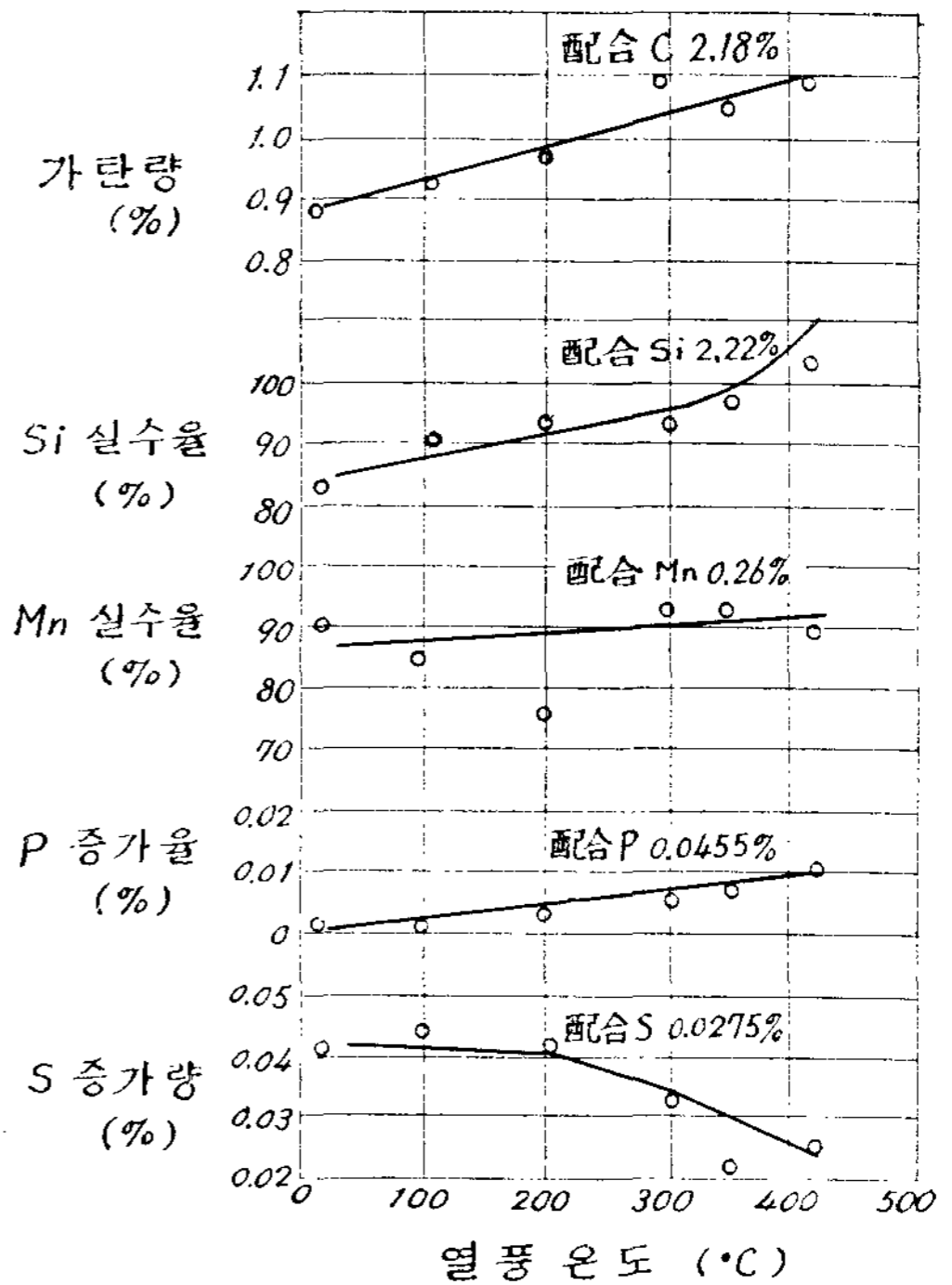
<그림 3> 송풍량 Cokes 용해속도 관계도



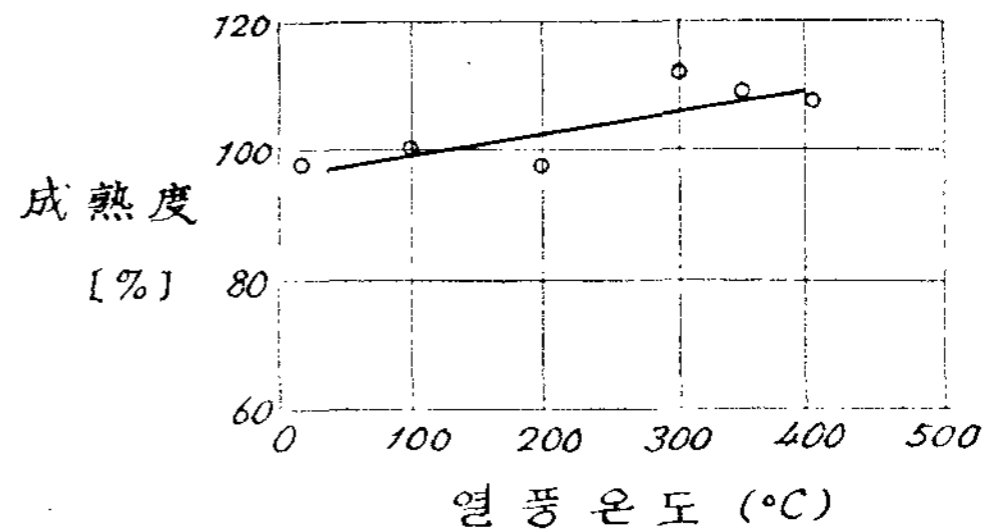
<그림 4> 爐內 gas의 溫度分布



<그림 5> CO₂, CO, η_v와 열풍온도의 관계도



<그림 6> 溶湯의 化學成分 變動



<그림 7> 성숙도와 열풍온도

이 集中的으로 일어나고 계속해서 $CO_2+C \rightarrow 2CO$ 의 還元反應이 活發하게 이루어져 冷風操業에 비해 高温熔解는 물론 高 CO가스의 還元性 雰圍氣를 이루고 있다.

또 還元性 爐內 雰圍氣로 인해 SiO_2 의 還元으로 Si의 實收率이 좋고 S의 吸收는 高温과 弱한 酸化性 雰圍기 또한 코오크스의 使用量의 감소 등으로 훨씬 줄어들고 있다.

熱風을 얻는 方法으로는

가) 排氣가스의 再燃式 : Cupola 의 排氣가스 中 CO 가스를 別途의 燃室에서 再燃시켜 그 熱을 熱交換器로 보내 送風을 豫熱하는 方法으로 300~400°C 정도의 預熱送풍을 할 수 있다.

나) 排氣가스의 顯熱을 利用하는 方法 : 일명 簡易熱風式이라고도 하며 150~250°C 정도의 熱風을 얻을 境遇에 效果的으로 利用되고 있다. Wind box(바람상자)를 cupola 의 上部까지 延長시켜 排氣가스가 보유하고 있는 熱을 吸收하는 方法이다.

다) 外部加熱式 : 別途로 燃室에서 重油나 氣體燃料을 연소시켜 送風공기를 預열하는 方法으로 300~600°C 정도의 比較的 高温을 얻는 境遇에 利用되고 있다.

熱風操業時의 問題點으로는 耐火物의 消耗가 커지고 空氣의 漏出 등 熱交換器의 故障이 잦고 유지비가 많이 들며 취급상 손질이 많아지는 점이다.

또 預열공기의 預열溫度가 一定치 않을 경우 爐況이 不安定해지고 熱風設備의 局部過熱 收縮膨脹 등에 依한 破損이 爐全體를 못쓰게 하는 경우가 있으므로 熱交換設備의 管理가 重要하다.

現在의 動向으로는 高温熔解에 의한 材質改善을 重點으로 하는 경우 爐況의 安定을 위해 排가스再燃式이나 外部加熱式 등 大規模 熱交換設備가 많이 쓰이며 코오크스를 절약해서 熔解原價를 節減시키기 위한 操業에서는 顯熱利用方式이나 排가스再燃式 方式이 많이 쓰인다.

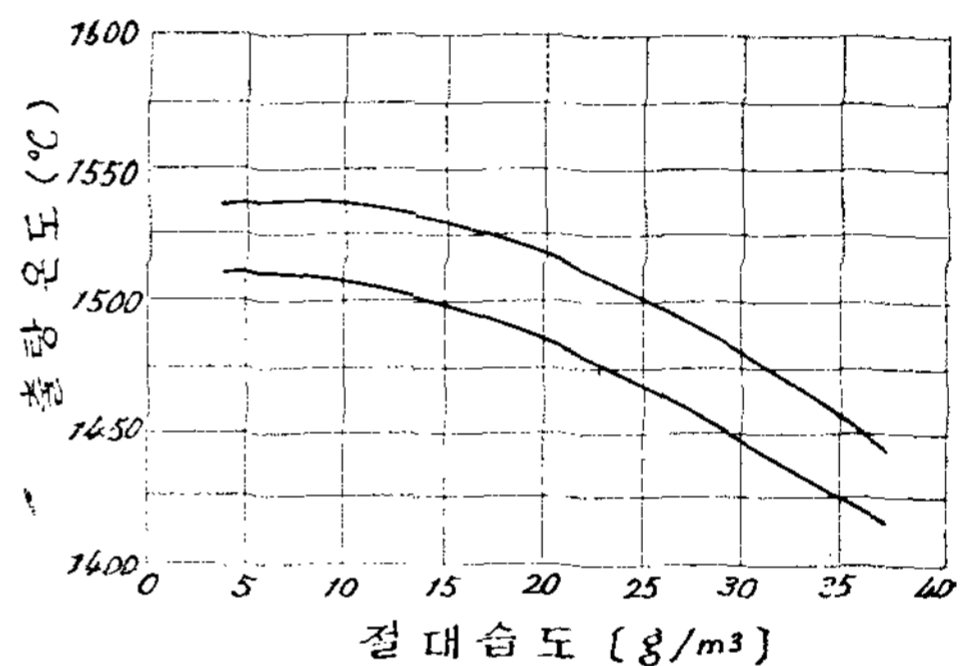
最近 小型 cupola 의 경우에 (2~4 ton) 250~300°C 정도의 豫熱送風으로 20~30%의 코오크스 절감의 효과를 얻고 있다고 한다.

3) 脫濕送風操業

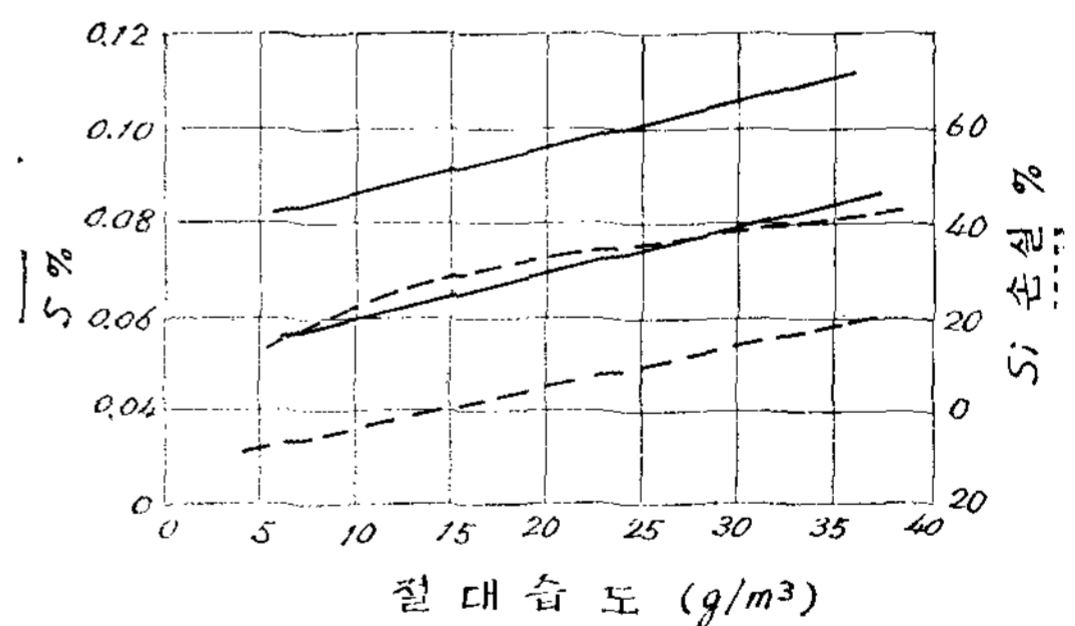
大氣中의 水分에 依한 溶湯性質의 低下 및 熱損失을 줄이기 위한 方法으로 使用된다.

一般的으로 大氣中의 絶對濕度는 乾燥期에 5g/m³ 雨期에는 20g/m³ 정도이며 實際, 鑄物工場의 경우 30g/m³에 달한다고 한다. 送風中 水蒸氣는 赤熱狀態의 코오크스와 접촉해서 $H_2O + C \rightleftharpoons CO + H_2 \dots -29.4 \text{ kcal}$, $2H_2O + C \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2 \dots -19.4$

kcal의 反應을 일으키는 것으로 生覺된다. 따라서 1kg의 水蒸氣에 對해 約 1.14kg의 코오크스 (炭素量 85%)가 필요하며 1t/h의 鑄鐵熔解에 對해 濕度 20g/m³의 경우에는 20.5kg/h의 코오크스가 水蒸氣에 의해 吸收되는 熱量으로 消耗되어 高温熔解를 바라는 경우 장애가 되고 있다. 또 送風濕도가 增加함에 따라 爐內의 溫度가 낮아지고 酸化性 霧圍氣로 되어 C, Si의 損失이 커지며 S가 增加하는 등 溶湯의 化學組成을 低下시키고 材質의 chill化 收縮增大 및 異常收縮 異常組織 등을 惹起시키고 있다.



〈그림 8〉 送風濕도와 出湯溫度



〈그림 9〉 送風濕도와 용탕성분과의 關係

脫濕送風裝置로는 シリカ겔이나 活性-Al₂O₃ 層을 통과시켜 水分을 吸着시키는 方法과 CaCl₂ 등의 吸濕劑를 使用하는 方法 冷凍에 의하여 공기 중의 水分을 凝集시키는 方法들이 있다.

보통 15~25g/m³ 정도에서 5~10g/m³ 정도로 脫濕한다.

그러나 施設費 등의 問題와 더불어 脫濕劑 등

의 경우 長時間 사용하면 脫濕能力이 감소하므로 곧 交替해주어야 하며 冷凍機의 사용시 送風溫度의 저하 등 問題가 많다.

4) 酸素富化 送風

코오크스 燃焼를 促進시켜 용해능력을 증대시키고 作業開始에서 부터 첫 出湯까지의 시간을 短縮시킬 수 있으며 集中燃焼로 溶湯의 溫度上昇 停電 등의 事故로 爐況이 惡化되었을 경우 신속한 回復 등의 效果를 얻을 수 있다.

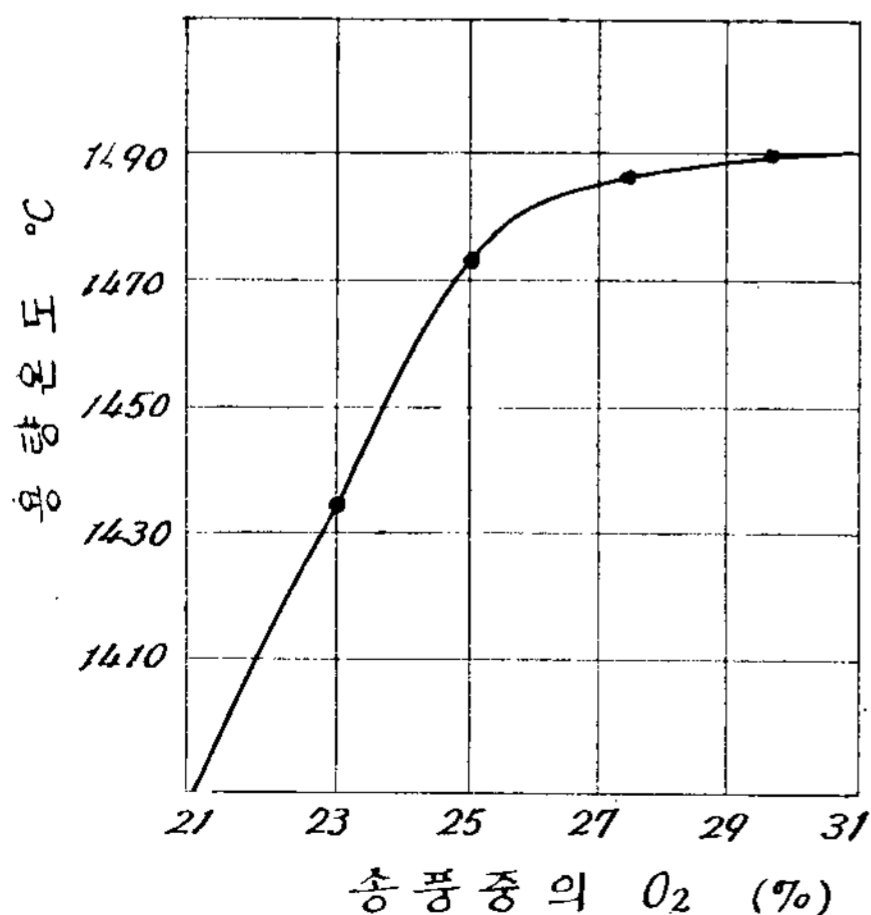
산소 사용량은 보통 4%이하이며 사용방법은 酸素를 送風管中에 添加하는 方法과 細管을 tuyere에 導入하는 方法이 있으며 連續으로 사용하는 경우와 필요한 時期에 그때 그때 사용하는 경우가 있다.

어느 경우든 코오크스의 燃焼가 매우 活潑하여 코오크스의 消耗가 많아지므로 벅스코오크스의 높이 追加裝入 코오크스에 注意를 하여 酸化熔解가 되지 않도록 해야 한다.

약간의 不均衡送風에 의해서도 爐況은 크게 變動하므로 均一送風이 되도록 酸素의 量을 正確하게 測定하고 調整할 必要가 있다. 산소의 價格이 비싸고 空氣의 漏出 등 사용상 注意를 要하므로 再考가 必要한 方法으로 되어 있다.

5) 補助燃料를 利用한 操業法

Cupola의 燃料인 코오크스는 取扱上 不便한

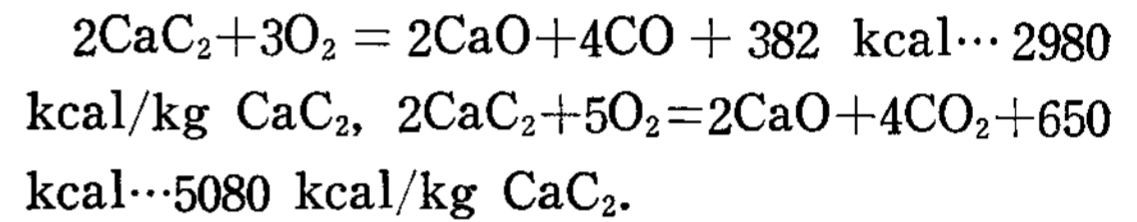


<그림 10> 산소 첨가량과 출탕온도와의 관계

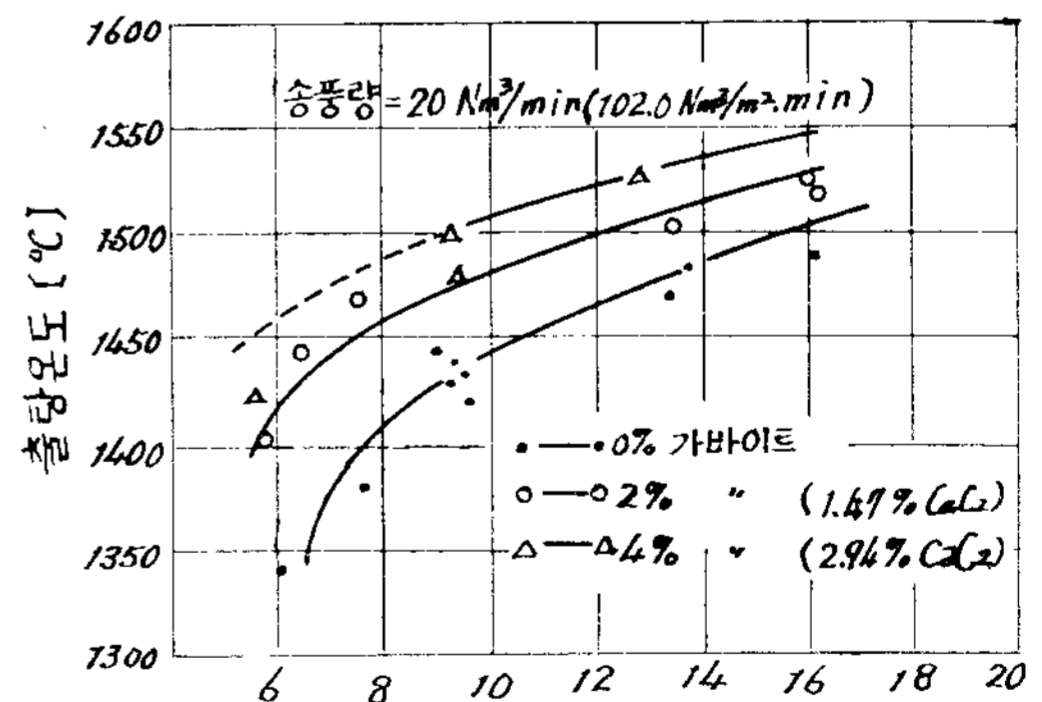
점이 많고 求하기도 그리 쉽지 않다.

또 硫黃을 含有하고 있어 좋지 않은 作用도 있다. 따라서 다른 燃料로 交替하고자 하는 努力을 기울이고 있으나 코오크스는 그 燃素雰圍氣가 弱酸化性으로 鑄鐵熔解에 좋은 結果를 주며 加炭效果와 塊狀으로 되어 있어 爐內에 適當한 間隔을 만들어 주어 연속용해를 可能하게 하는 등의 利點이 있어 全面的인 燃料交替는 어렵고 다만 現段階에서는 一部를 다른 것으로 代置하는 정도가 試圖되고 있으며 그중에서 結實을 맺은 것이 카바이드(CaC₂)의 添加와 各種개스나 重油 등의 氣體, 液體, 燃料의 利用이다.

가) 카바이드 添加操業



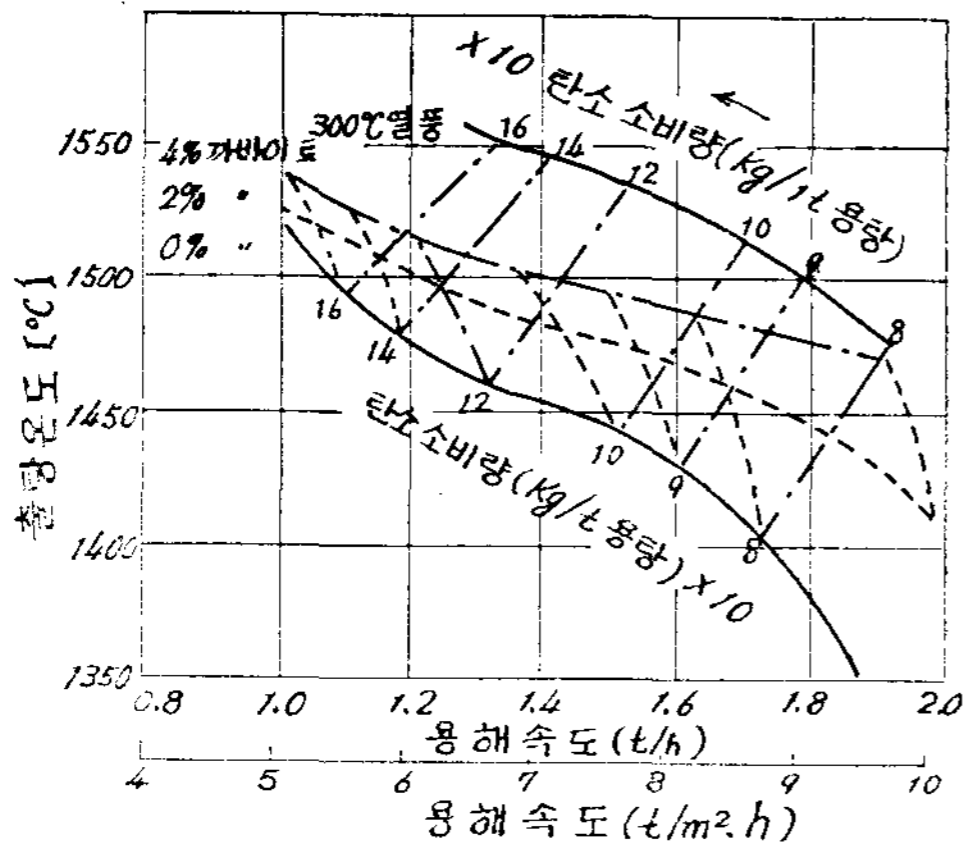
위와 같은 反應에 의해 特殊한 高溫帶를 形成하며 熱風을 사용했을 경우와 같이 코오크스의 燃素를 促進시켜 高溫帶의 形成을 助長한다. 따라서 그림 11에서 보는 것과 같이 出湯溫度는 월등히 높아진다.



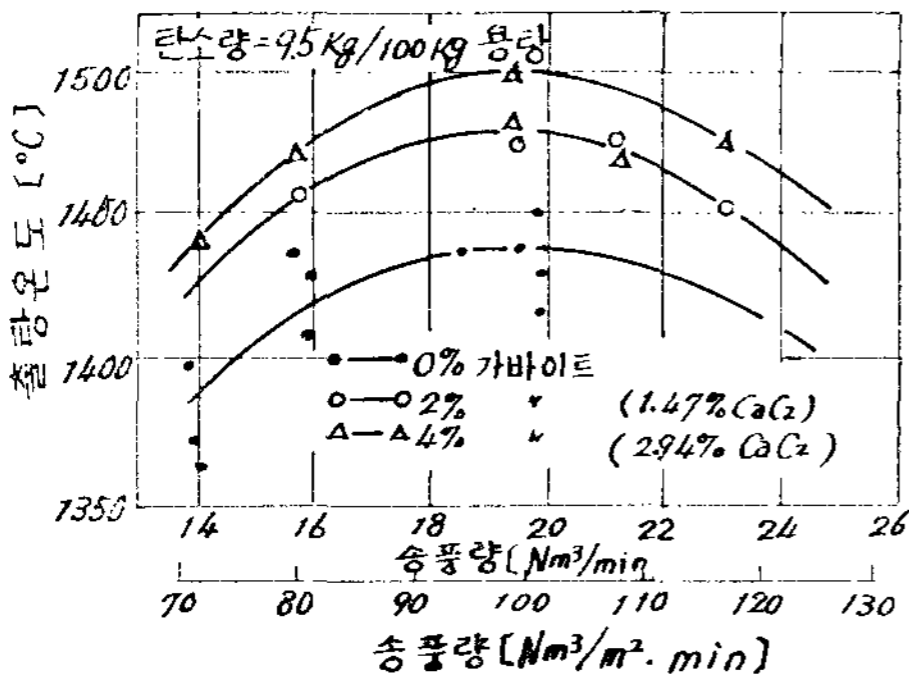
<그림 11> Cokes 소비량[kg/100kg] 용량

Schulze에 依하면 카바이드를 2% 첨가해서 低温熔解를 할 경우 코오크스 사용량을 10%까지 節減할 수 있다 한다.

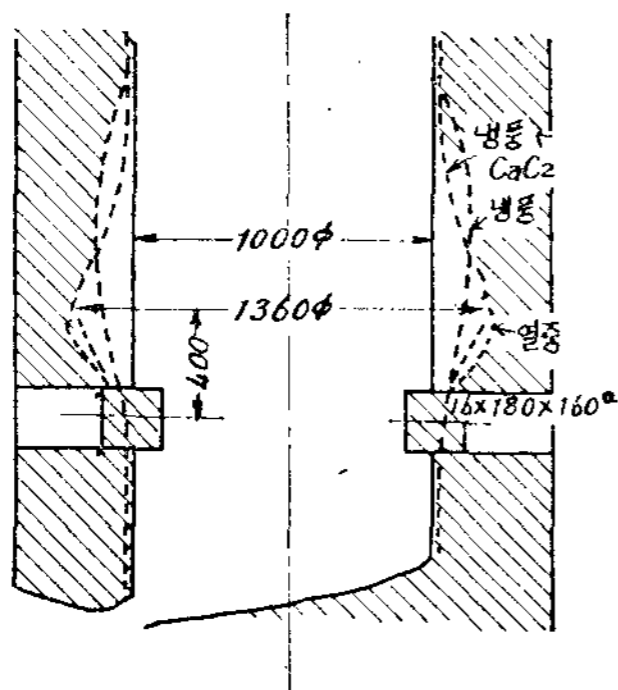
한편 石灰石의 分解가 吸熱反應인데 反해 카바이드의 CaO 분해반응은 發熱反應이므로 스톱



<그림 12> 300°C 열풍조업과 카바이트 조업과의 비교



<그림 13> 카바이트 조업시 출탕온도와 송풍량 관계



<그림 14> 냉풍 열풍 냉풍 카바이트 조업후의 용탕상태의 비교

그(slag)의 流動性을 좋게할 뿐 아니라 용탕의 溫度도 上昇하여 還元作用을 促進시키며 카-바

이드 2%의 첨가는 석회석 3%의 효과를 낸다고 알려졌다. 그밖에 鹽基度를 높이고 酸化鐵의 감소 硫黃의 감소 Si 減耗量 低下등 좋은 結果를 얻는다.

그러나 카-바이드의 取扱 및 保管이 까다롭고 純度가 適當치 못하거나 (보통 65~72%) 粒度 (20~30m/m)가 고르지 못할 경우 熔融點이 높아 용해가 되지 않는 경우가 있으며 作業終了時 殘留 카-바이드의 處理에 주의해야 한다. 또한 經濟的으로도 아직 有利하다고는 할 수 없는 형편이다.

나) 液體 및 氣體燃料의 利用

油類波動前 天然가스나, 重油, 프로판가스 등의 燃料을 비교적 쉽게 구할 수 있는 나라에서 이들 燃料의 이용에 대해 많은 研究와 實用이 있었으나 그후 試驗研究 등으로 一部 이용되는 정도이며 大量 普及化가 되지 못하고 있다.

보통 cupola 에 비해 燃料 사용량에 따라 코크스比는 감소되나 爐頂가스分布에서 CO₂ 및 H₂가 많고 버너(burner)의 위치에 따라 爐況의 變化 및 鑄造特性이 달라지며 H₂의 吸收量이 보통 조업에 비해 2배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

6) 기타 特殊 cupola 操業

가) 湯留部(hearth)의 加熱

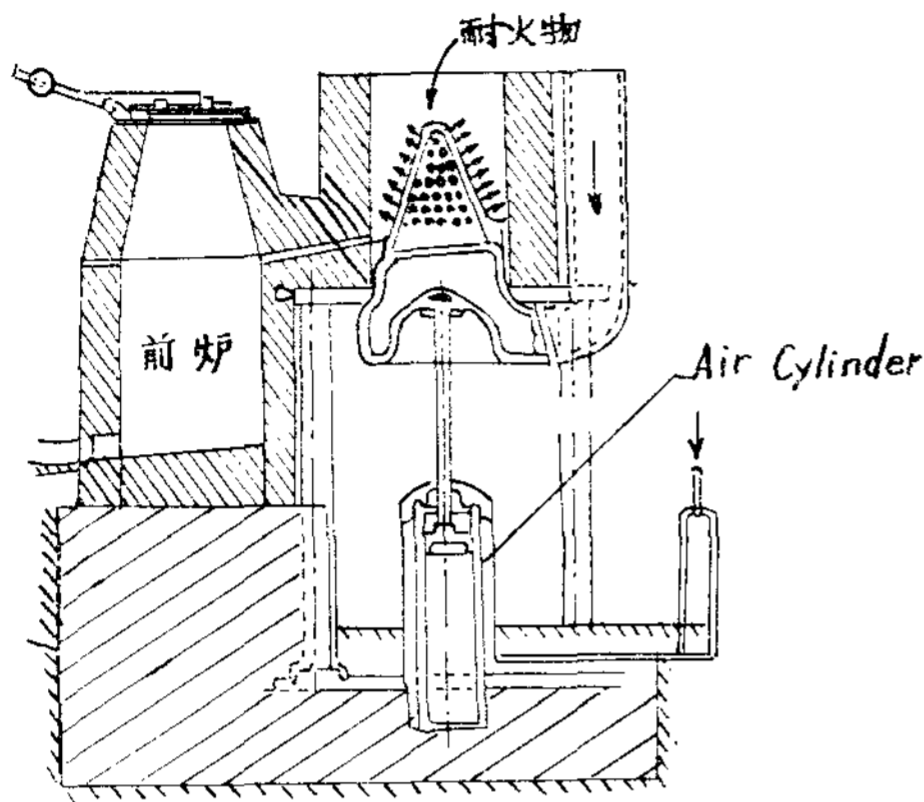
溶湯의 溫度上昇과 어느정도 溶湯成分의 安定化를 위해 利用되고 있다.

使用實例를 보면 爐內徑 800m/m 熔解能力 4t/h 의 爐에서 內徑 400m/m 높이 800m/m 의 高周波 誘導 加熱裝置를 湯留部에 설치해서 電力 60~120 Kwh/t 으로 용탕온도를 100~150°C 上昇시킨 例가 있고 近來 점차 이 方法의 使用이 늘어나고 있다.

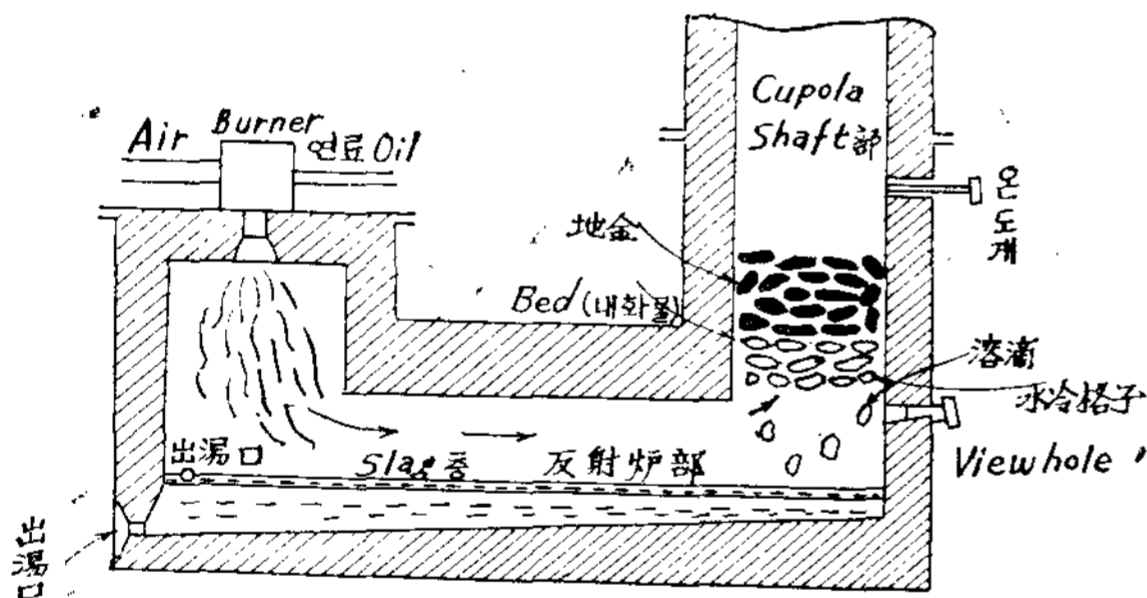
나) 爐底中央에 tuyere 를 설치한 cupola tuyere 의 形狀이나 吹수 등에 대한 研究는 많았으나 爐底中央에 tuyere 를 설치한 것이 최근 I. P. Petrov 에 의해 提案되었다.

從來의 cupola 는 공기가 爐壁으로 부터 들어 오기 때문에 中心部까지 浸透하기가 어려워 熔解가 熔壁 근처에서 이루어졌고 따라서 용해위치가

不均一하여 溫度를 올리기가 어려운 缺點이 있었다. 그림 15에서 보는 것과 같이 熔底에 圓錐形의 air pocket을 裝置해서 이 원추의 傾斜面으로부터 바람을 나오게하여 코오크스의 結塊, 용해속도의 증가 용탕의 溫度 상승, 耐火物의 壽命延長 등의 效果를 얻고 있다는 報告가 있다.



<그림 15> 爐底中央에 설치된 Tuyere



<그림 16> Flaven Furnace

다) 反射爐를 連結시킨 cupola (Flaven furnace)

벨기에 에서 開發된 特殊形으로 그림 16과 같이 cupola shaft 下部에 反射爐를 附設한 構造로 코오크스를 사용하지 않고 重油나 가스연료를 利用해 火焰이 反射爐部를 通過하여 cupola shaft 下部에서 부터 shaft 內를 上昇한다.

水冷金屬棒의 格子위에 뱃드코오크스에 해당하는 耐火煉瓦 조각을 쌓고 그 위에 地金を 裝入한

다. 10~20cm 정도의 耐火物層이면 地金이 完全히 熔落하고 그 以上の 耐火物 두께에서 過熱이 이루어져 反射爐에 고이게 된다.

이 操業의 長點은 코오크스에 의한 吸硫, 吸炭 등이 없어 配合成分 그대로 出湯할 수 있으며 還元性雰圍氣속에서 熔解 昇溫되어 成分의 酸化損失이 比較的 적고 溶湯 1 ton 當 重油 消費量 75~95 kg 정도의 비교적 높은 熱效率로 操業하고 있다 한다.

라) 出湯路(흙·樋)을 通電加熱하는 操業

黑鉛電極을 出湯흙 바닥에 設置해 低電壓高電流를 보내 흐르고 있는 溶湯을 加熱시켜 昇溫시키는 方法으로 設備費가 적게 들고 織濟的으로도 有利한 것으로 알려졌다.

7t/h의 cupola에 설치해서 1360°C의 용탕을 1440°C로 80°C 昇溫시키는데 용탕 1 ton 당 電力消費量 30Kwh/t으로 코오크스比 2~3% 정도 低下시켜 生産한 工場이 있다.

그러나 電極의 設置方法에 따라 熱效率의 變動이 심하므로 注意를 要하며 특히 小型爐의 경우 熱效率이 낮은 缺點이 있다. 전극소모는 용탕 톤 당 0.8kg 정도, 0.08% 정도의 加炭效果가 있다고 한다.

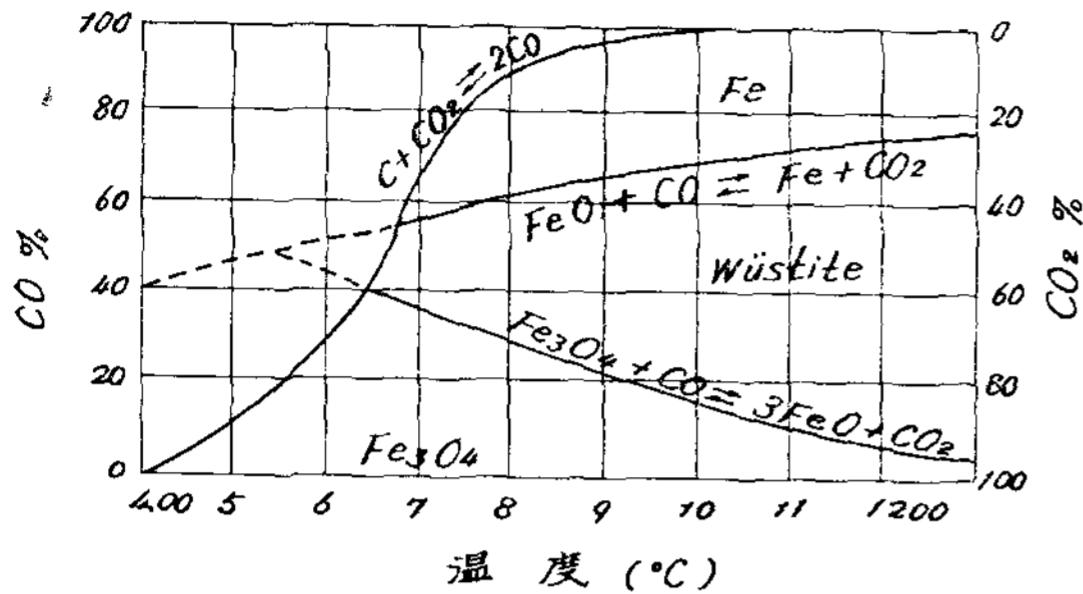
마) 半還元鑛石을 사용하는 操業

原料地金으로 鋼屑의 使用 대신 鐵鑛石이나 半還元鑛石을 사용하는 것으로 大型爐에서 利用되고 있다.

Cupola 內에서의 鐵鑛石의 還元狀態를 보면 Fe_2O_3 , Fe_3O_4 가 CO 가스에 의해 FeO로 환원되는 것은 쉽게 이루어지나 FeO가 Fe로 환원되는 반응은 그리 쉽지 않다. 즉 Fe-O-C系 平衡狀態圖에서 보는 것과 같이 $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$ 의 反應을 일으키려면 CO의 濃度가 약 1100°C 정도에서 75%이상으로 아주 높아야하나 Cupola 內에서는 이 반응이 충분히 일어날 만큼 CO 濃度가 높지 못하기 때문이다.

따라서 $FeO + C \rightarrow Fe + CO$ 의 固體炭素에 의한 還元反應이 필요하며 또 이 反應이 吸熱反應이므로 코오크스의 첨가 熱風 등으로 熱補償을 해주어야 한다. 보통 400°C 以上の 熱風이 필요하고 코오크스比를 35~50% 정도로 높여야 하

며 이에 따른 副資材의 사용도 훨씬 增加시켜야 한다.



〈그림 17〉 Fe-O-C 系平衡狀態圖

80%의 半還元鑛石과 20%의 銑鐵 코오크스比 49%, 石灰石 13%, 형석 5%를 사용해서 熔解 1톤당의 單價를 보통 용광로 용해과정을 거친 銑鐵을 cupola 에서 再熔解하는 方法에 비해 20~30% 정도 低下시킨 操業例가 있다.

바) 기타 特殊操業으로는 排氣 가스를

다른 施設에 利用하는 등 可能한 限 cupola 操業의 코스트를 낮추려는 方向으로 努力하고 있다.

7) 作業의 機械化와 計測의 進歩

各種 産業의 發達과 더불어 人力의 不足이 심각하게 대두되고 公害防止 등 作業環境의 改善이 요구되는 지금 cupola 의 機械化는 당연한 것이 라 하겠다. 裝入設備로는 콘베이어式에 의한 連續投入機와 바께쓰(bucket)에 의한 스킵(skip) 式裝入機들이 있으며, 秤量機로는 自動으로 秤量 되고 每回마다의 誤差가 累積되어 다음 裝入물의 秤量時 自動補正되는 홉버어(hopper)式 weight car 가 있으며 電子管을 利用해서 荷重에 의한 strain 을 重量으로 바꾸어 주는 電子管式 hanging weighter 가 있어 溶湯量의 測定 등에 많이 쓰인다. 計測器에서도 風壓 爐內溫度 爐內壓力 爐頂가스分布 出湯溫度 裝入物의 높이 측정 成分의 신속분석 등에 많은 進展이 있었고 그 誤差범위도 무시할 만큼으로 줄어들었다. 또 近來 7線을 透過시켜 코오크스의 높이 測定 裝入物의 狀態등 爐況判定作業까지 이루어져 한층 安定한 操業이 可能하게 되었다.

8) Cupola 操業의 自動化 및 電子計算機 制御

近來 品質의 高級化와 均一性, 有持 工程의 一貫性, 織營의 合理化를 위해 外國 몇몇 工場에서 cupola 의 自動化 및 自動 制御에 관한 研究가 進行되고 있고 一部 部分的인 導入이 이루어지고 있다. 그 內容은 아직 cupola 操業의 全體的인 制御段階까지는 이르지 못하고 다만 다음의 3가지 方向으로 試圖되고 있다.

가) cupola 에 裝入하는 原材料와 용탕량의 管理에 對한 自動化

나) 爐況判斷方法의 確立과 그에 따른 적절한 爐況修正 處理方法의 自動化

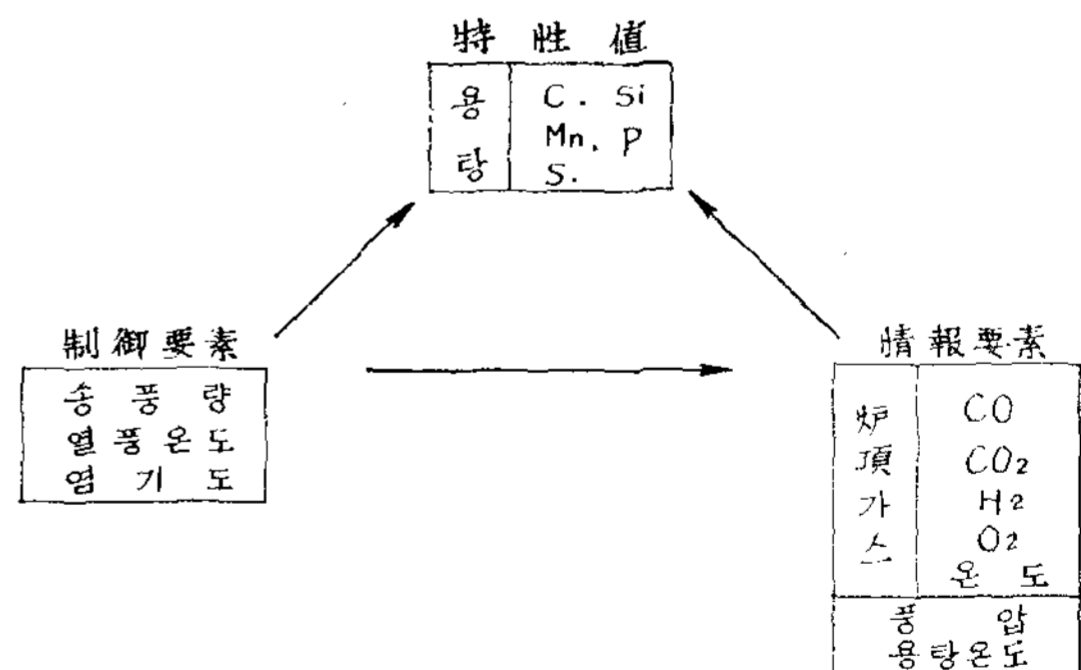
다) 操業中 爐內 異常의 발견과 그 處置의 自動化 등이며

그 方法으로는

가) 對象으로 하는 工程을 解析해서 數學的 모델을 作成하여 制御하는 方法

나) 對象으로 하는 工程의 目標와 操作과의 關係를 觀測하면서 가장 適當한 方法으로 誘導하는 方法

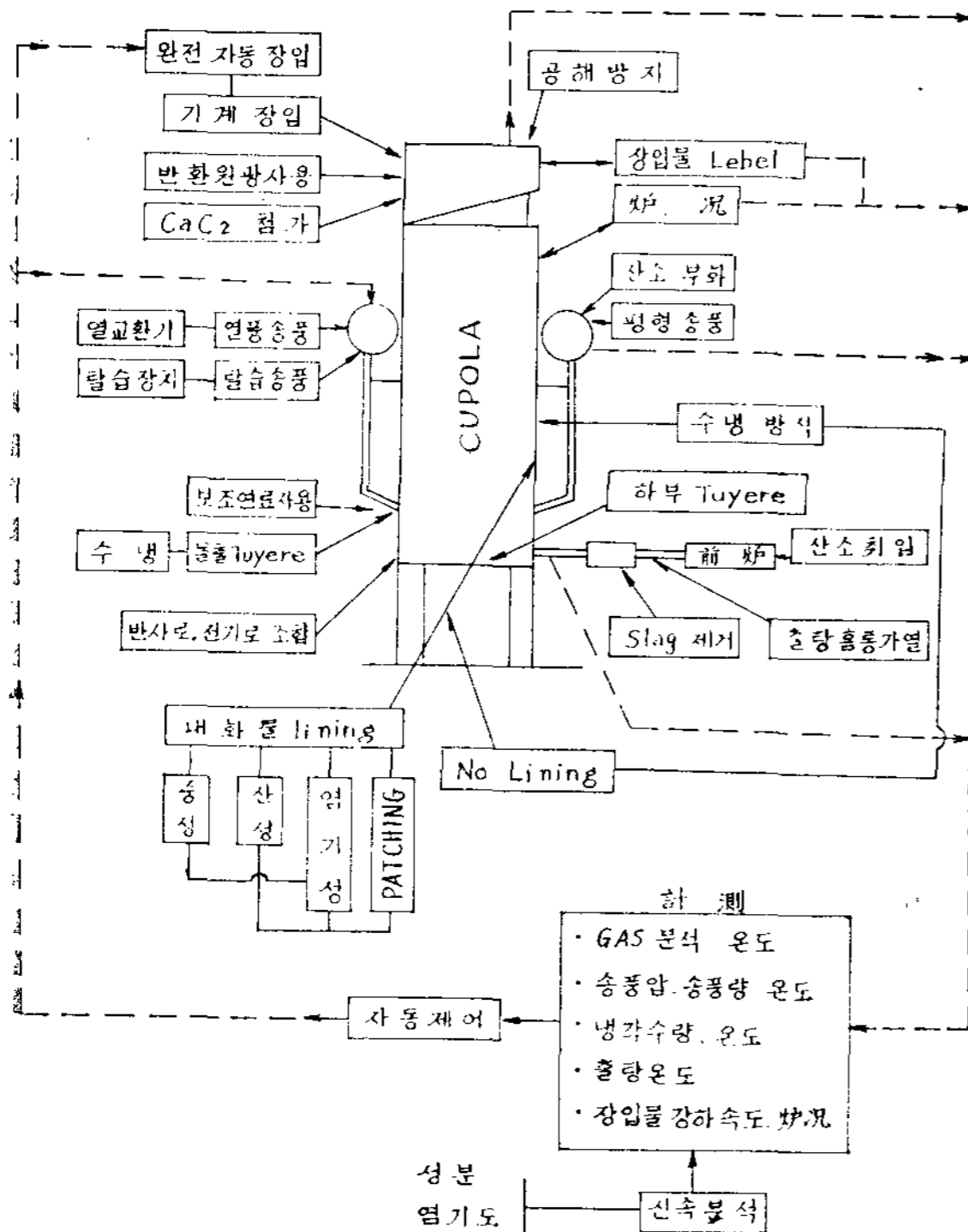
다) 프로그램 制御방법식으로 대상으로 하는 공정의 操作開始 終了 異常處理 등 복잡한 順序 動作을 行하는 境遇에 使用된다.



〈그림 18〉 자동제어 要因 관련圖의 例

그러나 計算機制御 및 自動化를 위해서는 필수적으로 各種 計測器의 發達이 先行되어야 한다. 또 精確한 측정이나 分析이 이루어졌다해도 시간적으로 遲延이 될 경우 自動制御의 意味는 없게 되는 것이다.

現段階에서는 용탕에 즉각적인 효과를 줄 수 있는 處理方法의 開發이 없는 限 情報入手에서 부터 處理 또 그 結果를 再分析하기까지의 one cycle time 이 상당한 시간을 要하므로 全般的인 自動制御가 事實상 힘든 상태이다.



〈그림 19〉 최근 CUPOLA 진보상황

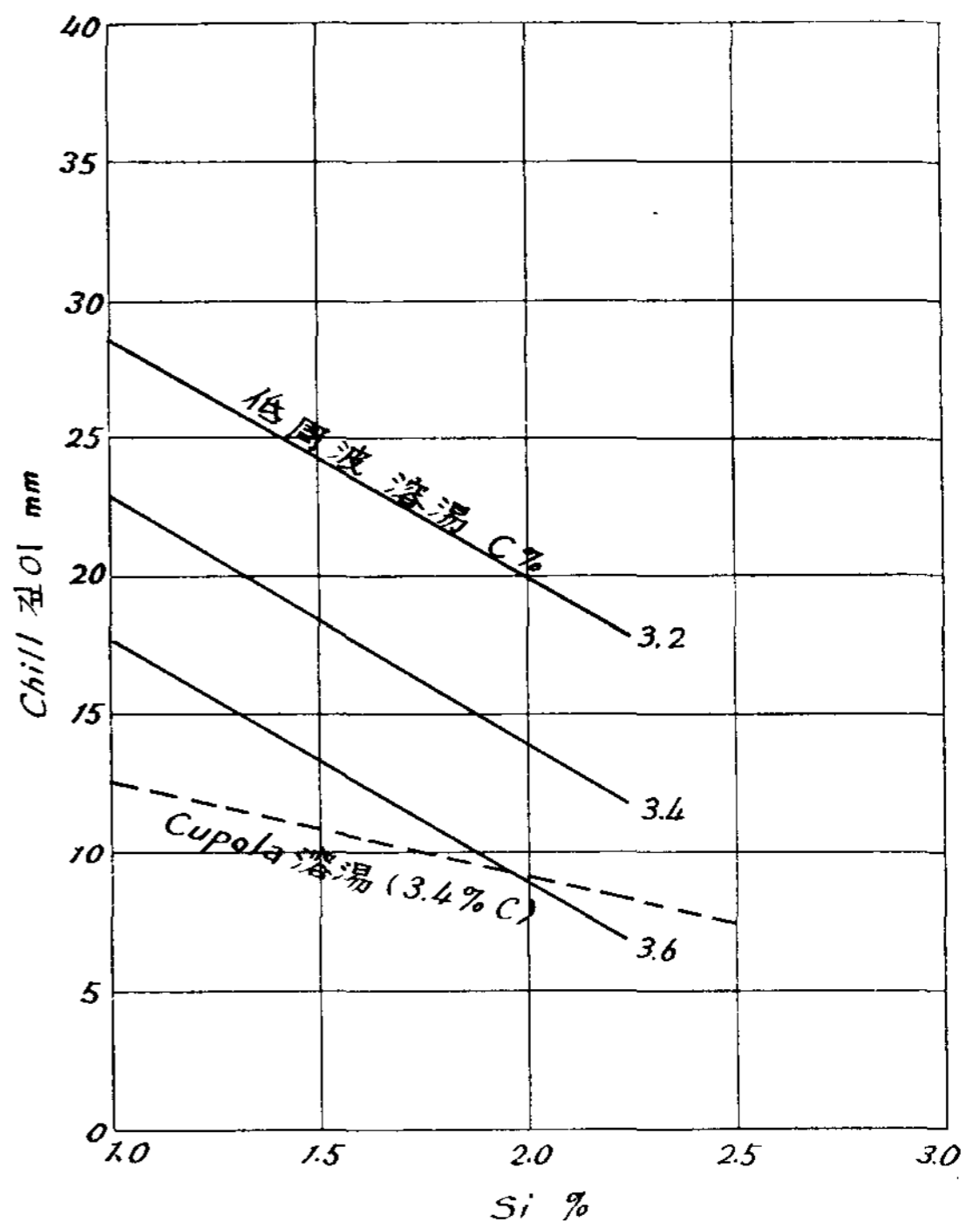
3. 展 望

以上으로 cupola 의 最近 發達現況을 간추려 보았다. 實로 재래식의 cupola 에 比하면 너무나 큰 差異가 있고 현저한 發展을 이룩했다.

그러나 아직도 cupola 操業에는 解決해야 하고 改善시켜야 할 問題들이 散在해 있다. 最近 鑄鐵 熔解爐로서 각광을 받고 있는 低周波誘導爐와 cupola 를 서로 比較해 가면서 cupola 의 장점과 短點을 즉 앞으로 改善시켜야할 問題들을 찾아 보겠다.

우선 熔湯의 性質面에서 보면 저주파유도로(以下 誘導爐로 함)의 熔湯은 큐폴라에서 熔解한 용탕에 나타나는 龜甲狀이 나타나지 않아 용탕模樣으로 性質을 判斷하는 작업이 불가능하다는 것이며 용탕의 冷却速度에서도 큐폴라의 경우가 유도

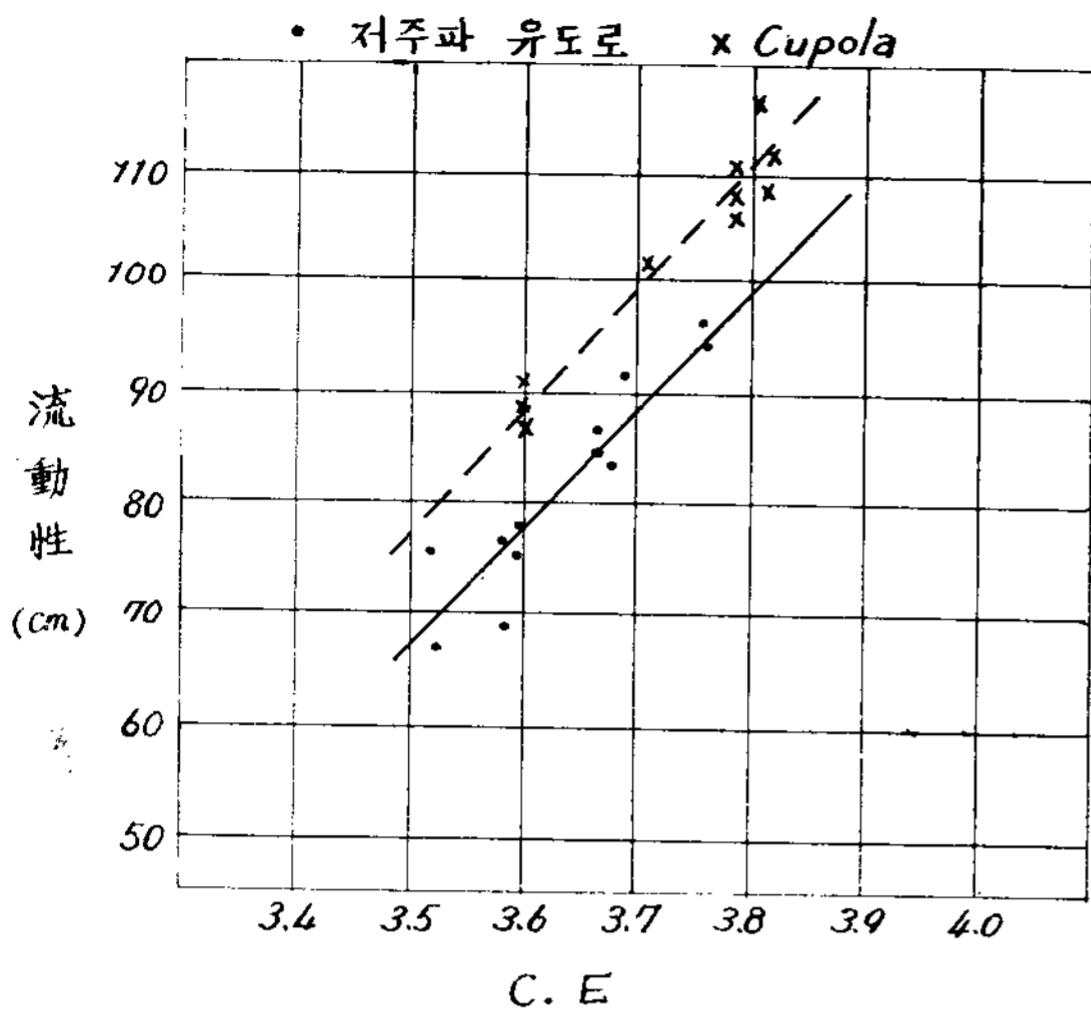
로 보다 냉각속도가 느리다는 것이 관측되었다. 따라서 유도로 용해의 경우 注込準備작업을 迅速히 끝내야 하고 特히 小物品을 연속적으로 한 ladle 로 注入할 때는 최후에 주입할 製品의 주입溫度를 考慮해서 出湯溫度를 결정해야 한다. 한편 錳 化의 傾向을 보면 유도로의 경우가 큐폴라에 比해 錳 化 傾向이 强하고 特히 鋼屑의 配合量이 많은 경우 현저히 錳 化 傾向이 높다. 다음 그림은 큐폴라와 誘導爐 熔湯의 錳 化를 나타낸 것으로 같은 C.E 値에 대해 큐폴라가 錳이 적게 생김을 보여준다.



〈그림 20〉 C, Si 含有量과 Chill 깊이와의 關係

뿐만아니라 流動性에서도 cupola 의 경우가 유도로에 비하면 더 좋은 결과를 나타내고 있다. 그림 21은 Seager, Krynitsky 가 考察한 渦卷을 이용해서 얻은 測定値이며 流動性은 CE 値에 比例하는 것으로 나타났다.

이와 같이 cupola 에서 鑄鐵을 용해하는 경우 豫熱帶에서 地金이 CO 가스가 많은 霧圍氣에서 加熱되고 表面積이 큰 溶滴으로 灼熱하는 코오크스와 接觸하면서 降下하는 용해機構로 인해 凝固



〈그림 21〉 流動성과 C. E 值와의 關係

後의 鑄鐵에 良好한 性質을 나타내므로 이런 面에서는 arc 爐 誘導爐등 電源을 사용하는 熔解爐 보다는 優秀하다고 할 수 있을 것이다.

그러나 유도로의 경우 原材料에서 값싼 鋼屑을 多量 사용하여 特히 cupola 에서 사용하기 곤란한 小片이나 大塊를 사용할 수 있기때문에 cupola 용해에 비해 약 10~30% 정도의 原材料費의 節約이 가능하고 補助燃料費에서도 操業方法에 따라 다르겠지만 용해량이 그리 많지않을 경우 基本的으로 裝入해야하는 코오크스량이 있으므로 cupola 쪽이 不利한 경우가 많은 것이다.

한편 成分의 조정의 면에서도 均一한 용탕을 얻기 힘들며 더우기 合金鑄鐵을 만들 경우 合金成分의 용해온도차로 인해 熔解帶가 각기 다른 곳에 形成되는 등 어려움이 많아 操業이 곤란하고 기계적 성질의 변화가 심한 편이다.

이러한 短點들을 解結하기 위해 앞서 말한 갖가지 方法들이 開發되었고 앞으로의 課題가 되고 있다. 즉, 이러한 諸問題들의 해결이 cupola 의 方向이고 나아가길 이 아닌가 생각한다.

最近 熔湯材質의 高級化에 對한 要求가 각 産業의 發達과 더불어 切實해지고 있으며 이에 對應하고자 爐內反應의 熱力學的 推理와 解析을 通해 보다 有利한 反應雰圍氣를 造成하기 위해 既存設備의 改善과 原料配合比의 調整 鹽基性 鑄業

熱風送風 카바이드 添加操業등을 실시함으로써 不純物의 除去反應을 만들어 주거나 高温熔解 등으로 용탕재질의 向上을 꾀하고 있으며 出湯時 加熱 탕유部加熱 전노設置二重熔解法 등으로 용탕성분의 調整을 꾀하고 있으며 特히 二重熔解法의 경우 合金鑄鐵의 製造나 正確한 成分調整에 높은 生産성과 함께 많은 성과를 거두고 있다. 따라서 앞으로의 cupola 는 成分 및 材質에 대한 高級化가 계속적으로 要求되고 있는 限 위에서 말한 것과 같이 操業法의 改善研究와 용탕의 爐前處理 方法의 研究와 더불어 二重熔解에 관한 研究가 필요하리라 생각된다.

또 어떻게 하면 耐火物의 消耗를 줄여 長時間 高温熔解를 이룩하느냐 하는 문제에 많은 연구가 필요할 것 같다. 그렇게 함으로써 多量의 鋼屑을 사용하여 原材料費의 절감 및 기계적 성질을 향상시키며 安定된 操業을 할 수 있도록 해야 할 것이다. 따라서 高温熔解를 위한 操業方法과 함께 爐의 大型化와 水冷方式의 改善 나아가서는 노라이닝(no lining) 操業을 실시해야 할 것이다.

이제까지의 單純한 物件의 製作을 爲한 技術的인 問題와 原價節減의 問題 외에 産業規模의 廣大와 資源의 變動, 地域環境에 따른 해결해야 할 문제들 또한 중요한 cupola 의 進路 決定의 要素가 되고 있다.

자원의 변동에 관해 보면 良質의 코오크스를 얻는 문제는 시급히 그 對策이 강구되어야 할 문제중의 하나이다. 全世界的으로 石炭의 埋藏量은 다른 어떤 燃料보다도 壽命이 다해가고 있기 때문이다. 이에 對한 研究로 최근 벨기에에서 開發한 Flaven furnace, 미국의 cokes less cupola 등이 登場하고 있으며 조만간 이들의 보급도 많아지리라 생각된다.

이와 더불어 歐美 各國에서는 原子力을 cupola 에 導入하고자 하는 考慮가 있다고 하며 앞으로 燃料問題가 더욱 심각해지리라는 점을 생각할 때 第三의 熱源인 原子力의 利用 또한 不可避할 것이라 생각된다.

近來에 들어 모든 産業에서 公害防止에 對한 問題가 심각하게 대두되고 있으며, cupola 에서도 例外 일수는 없다. 각종 集塵裝置 가스處理

장치의 설치는 물론이러니와 操業方法에서도 公
害防止를 위한 새로운 操業方法이 개발되고 있다
한 例로 미국에서 개발중인 up side-down cu-
pola로서 送風을 爐頂에서 부터 hearth 쪽으로
down-draft로해 용탕과 가스를 함께 출탕구로
빠지게하여 前爐에서 폐가스를 연소 처리함으로
서 公害방지를 꾀하고 있다 한다.

Cupola의 또다른 角度에서의 開發은 一括적인
品質管理과 人力의 減小 生産性向上 등을 爲한
自動制御(電子計算機)의 導入이다. 앞에서 言及
한 바와 같이 問題點이 없는 것은 아니지만 모든
産業의 發達과 周圍環境을 생각한다면 얼마든지
實現시킬수 있고 또 그렇게 되도록 繼續적으로
推進시켜 나가야 하리라 생각된다.

이제 마지막으로 이상의 것을 간추려 結論을 맺
고 cupola의 현황과 展望에 대한 나의 所見을
마치고자 한다.

4. 結 論

鑄物工場의 發達과함께 熔解造型의 織濟的 結
합이 이루어져야 할줄 안다. 生産性 向上을 爲한
自動造型의 發展은 熔解爐에도 많은 問題點을 안
겨주었다. 즉 一定한 造型量에 注入되는 熔湯의
量과 一定한 溫度를 恒常 供給해야 하는 것이다.
一定한 造型量이라도 鑄物의 크기에 따라 그 重
량이 다르므로 注入되는 熔湯의 量이 變化되기
마련이다. 이런 것을 解決하기 위해서도 cupola
誘導爐, cupola-電弧爐, cupola-反射爐等 重

二熔解의 形態를 갖추어왔고 또 batch 爐인 誘導
爐等を多數 配置하는 등 여러가지의 方法으로 解
決해 왔다. 또 cupla 熔湯과 Batch 爐의 熔湯의
特性을 살리기 위해서도 二重熔解方法을 誘導해
왔다.

鑄鐵工場의 自動化라는 觀點에서 볼때 cupola
와 batch type 爐와의 織濟的 結合을 어떻게 發
展시켜 나가느냐가 큰 課題가 될 것이며 材質의
高級化 連續操業에 均一한 熔湯을 얻기 위한
cupola의 形態의 燃料面의 變動에 對應하기 위
한 cupola의 形態 및 構造改善等 鑄物工業의
發展과 더불어 永久히 構造面 操業面에 對해 淸
저하고도 細心한 그러면서도 多角的인 研究가 있
을 것 입니다.

<參考文獻>

- 1) 韓國科學技術研究所：鑄物工業의 現況調査 研究 1975. 2.
- 2) 日本 鑄物協會：Cupola 핸드북 丸書(株)
- 3) 李啓完, 廉熙澤：鑄造工學, 文運堂 1973.
- 4) 日本：金屬 Vol. 41, No. 16. 600號 602號 608號
1971~1972.
- 5) 日本綜合鑄物센터：給合鑄物 Vol. 14, 1973. 10
- 6) 日本鐵鋼連盟：鐵鋼界 1973. 10
- 7) 日本鑄物協會：最近의 鑄鐵溶解技術에 關한 講習會
教材：1965. 5.
- 8) Foundry. 1968. 7. What about the cupola's
future
- 9) 裴昌國：Cupola 操業에 關한 發表 1973.