

# 銅의 連續製鍊法에 대한 考察

## On The Continuous Smelting Process of Copper

李 璠 根

(豊山金屬・製鍊部長)

### I. 序 言

銅鑛에서 金屬銅으로 製鍊하는 方式은 濕式製鍊法과 乾式製鍊法으로 大別되는바, 濕式製鍊法은 銅鑛石을 水溶液으로 抽出하여 電解 또는 化學置換法으로 銅을 回收하는 方式으로써 主로酸化銅鑛에 適用되는 方式이며, 硫化銅鑛은 熔鍊爐로 matte를 만들고 이를 製銅爐로 粗銅化하는 乾式製鍊法을 適用한다.

鑛山에서 銅鑛이 塊鑛으로 出荷하던 時代에는 용광로를 使用하여 다음과 같은 工程을 거쳐 電氣銅을 만들었다.

銅塊鑛 → 熔鍊爐 → matte → 轉爐 → 粗銅 → 電解 → 電氣銅

그러다가 鑛山에서 浮遊選鑛法이 發達되어 高品位 粉鑛으로 出荷하기에 이르러서는 용광로사용은 粉鑛을 다시 燒結塊로 하여야 함으로, 粉鑛을 熔鍊하는 反射爐製鍊法이 開發되고 今日에 이르고 있다.

銅粉鑛 → 反射爐 → matte → 轉爐 → 粗銅 → 電解 → 電氣銅

鑛石中에 있는 硫黃分의 燃燒熱을 效果的으로 利用하고 排氣 gas熱을 送風空氣의 豫熱에 利用한 自熔爐法이 Finland의 P.Bryk 및 T.Rysselin 兩氏에 依하여 發明되고<sup>1)</sup> 1949年 Finland의 Harjavalta 製鍊所(Outokumpu Oy社)에 처음으로 建立되었다<sup>2)</sup>. 이 方法은 主로 日本에 導入되어 여러 製鍊所에서 適用되고 있으나<sup>3)</sup> 이는

※ 技術士: <金屬部門>

反射爐의 公害性을 改善한 方法으로 다음과 같이

銅精鑛 → 自熔爐 → matte → 轉爐 → 粗銅

熔鍊工程과 製銅工程의 二段階工程을 거쳐야 粗銅이 된다.

matte 熔鍊工程은 吸熱作用으로 밖에서 熱을 (燃料) 補充시켜야 하며, 製銅工程은 發熱作用으로 熱이 남아온다.

이에 冶金技術者들은 10餘年前부터 이 두工程을 합쳐 熱效率의 合理化를 期하는 連續製銅法의 研究에 沒頭해 왔다.

現在 連續製鍊法으로 工業化에 成功한 方法은 다음 三個社의 方法이며 이에 對하여 考察코자 한다.

- (1) cra社의 worcra法
- (2) noranda社의 noranda法
- (3) 三菱金屬社의 連結爐法

### II. CRA社의 WORCRA法

worcra法은 Conzinc Riotinto of Australia Ltd. 社에서 開發한 法으로 開發者인 Dr. Howard K. Worner의 이름을 따서 worcra法<sup>4)</sup>이라 命名하였다. 이 爐는 熔鍊과 製銅反應을 單一爐內에서 連續的으로 이르게 精鑛으로부터 直接 粗銅을 얻는 方法으로 爐型을 여러가지 形式으로 研究한바 試驗爐는 U字形으로 하였다가, 商業用爐는 一字形으로 單純化시키고 있다.

Australia의 Port Kembla 製鍊所에 日當精鑛處理 72%의 工業化爐를 1968~1969間 操業하여 自信을 얻고 商業用爐 建立에 들어가고 있다

Straight-line 形爐는 다음 그림 I과 같이 Smelting bowl을 中心으로 兩側에 還元帶와 Slag cleaning 帶가 있어 모양은 Peirce-Smith Converter를 固定시키는 것과 恰似하다.

精鑛과 熔劑는 Pneumatic tube 와 Mechanical Slinger로 給鑛하며 Slag는 계속 over flow 하고, 粗銅은 必要時 Tapping 한다.

Lance에 의한 酸素富化空氣操業으로 粗銅이 增産되고 있으며  $SO_2$  gas는 14% 以上이 됨으로 黃酸製造에 適合하다<sup>5)</sup>

建設費는 反射爐에 비해 25~35%가 低하고 操業費도 낮다한다<sup>6)</sup>.

worcra Converter의 特色은 다음과 같다.

- ① 銅精鑛으로부터 直接 粗銅을 單一爐內에서 生産한다.
- ② 發熱酸化反應이 Bath안에서 發生되고 熔鍊이 繼續됨으로 “Bath 熔鍊法”이라 하겠다. Bath는 탄스에 의한 酸素富化空氣로 攪拌 流回된다.
- ③ 還元帶에서 Slag는 比重에 의하여 移動되어 Slag Cleaning 帶로 가고, matte는 漸次 粗銅으로 還元된다.
- ④ 含銅 Slag는 熔鍊帶를 거쳐 Slag cleaning 帶로 가서 거기서 銅分은 沈降分離시킨 後 Slag만이 over-flow된다.
- ⑤  $SO_2$  gas는 熔鍊帶 및 還元帶에서 發生되며 烟筒에의 排出口로부터 均一한 濃  $SO_2$  gas가 排出되므로 黃酸製造에 適合하다.

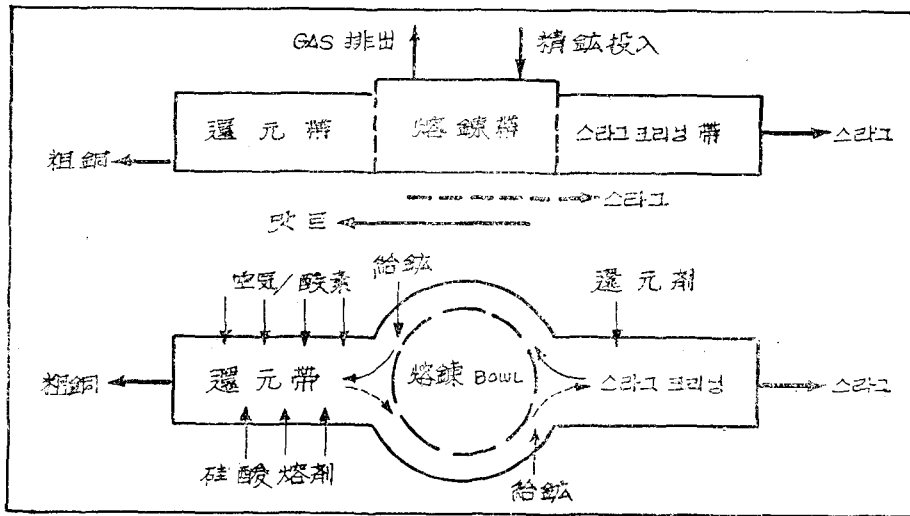


그림 1. Straight-Line Worcra Smelter-Converter

### III. NORANDA法

Canada의 Noranda Mines Ltd.에서 開發한 noranda reactor는 worcra法과 같이 單一爐內에서 粗銅이 生産되며 이爐를 “Reactor”라 부르고 있다.

1964年 Noranda Research Center에서 研究 開發 되었고, 日當 精鑛處理 100% 工業試驗爐를 1968년에 建立. 3年間の 試驗操業에 成功<sup>7)</sup>,

日當處理 800%의 商業用爐를 Noranda, Quebec, 製鍊所에 建立하여 1973年 3月부터 操業을 開始하고 있다<sup>6)</sup>.

이 Reactor는 P.S. Converter의 길이를 더 길게한 爐와 恰似하여 爐內의 作用을 보면 그림 2와 같이 精鑛熔鍊 및 matte 吹帶, 白鉍吹帶, 粗銅沈降帶, slag 還元帶, slag 沈降帶로 區分된다.

그림의 左端부터 裝入되는 團鑛된 精鑛과 熔劑는 熔融되면 matte와 slag의 二層이 되고,

matte와 slag가 右側으로 흐를 때 Tuyer(送風口)로 부터 matte中에 送風되면 從來의 轉爐의 第1期와 같이 matte中의 fes가 점차 酸化되어, 硅酸熔劑와 같이 slag가 된다. matte中의 fes含有量이 줄어 爐의 中心部에 達할 때는 거이 純粹한  $Cu_2S$ (白鉞)만이 된다. 다시  $Cu_2S$ 는 送風에 依하여 轉爐의 第2期 反應과 같은 作用

으로 粗銅이 生成되고 白鉞層의 下部에 第3層으로 低部에 高인다.

Slag는 中央部를 지나 右側으로 가면서 matte 粒子를 沈降分離하고 繼續 Over-flow 한다. reactor의 各反應帶에서의 熔體의 滯留時間은 다음 1표와 같이 平均 5時間이다.

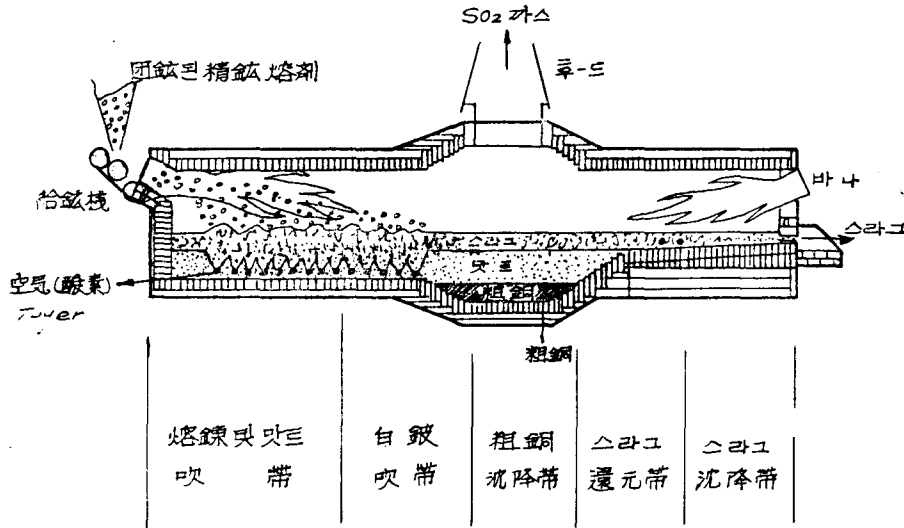


그림 2. NORANDA Process Reactor 火

表 1.

REACTOR 各帶에서의 熔體의 滯留時間<sup>9)</sup>

帶	熔鍊 및 매트吹帶	白鉞吹帶	粗銅	스라그還元帶	스라그沈降帶	計
滯留時間(hr)	2	0.5	1	0.5	1	5時間

Noranda process가 worca process와 다른 點은

① Noranda Reactor는 한쪽에서 熔鍊되면 같은 方向으로 Slag와 matte가 병류하면서 製鍊되는데 Worca-Converter는 中央 bowl에서 熔鍊되면 Slag와 matte가 反對로 逆流되면서 製鍊된다.

② Worca-Converter는 上部에 Lance를 갖인 固定爐인데 Noranda-Reactor는 P.S. Converter와 같은 Tuyer를 갖인 回轉爐이다.

이 工法은 從來 方法보다도 다음과 같은 利點이 있다<sup>8)</sup>

- ① 建設費가 低廉하고
- ② 製鍊費가 싸고
- ③ 修繕維持費가 低하며
- ④ 有價金屬의 實收率이 높고
- ⑤ 高度의 自動化가 容易하다는 點이다.

다음 表 2는 各熔鍊方式의 建設費와 製鍊費의 比較表이다<sup>9)</sup>.

表 2. 各種製鍊法의 建設費와 製鍊費의 比較

	建設費		製鍊費	
年間產銅量(屯)	30,000	80,000	30,000	80,000
反射爐法	100	100	100	100
熔鍊爐法	90	110	130	150
自熔爐法	92	98	110	105
連續爐法	85	85	72	75

連續製鍊法은 matte中의 fes 酸化로 發生되

는 過剩의 熱量(從來法에서는 轉爐에서 發生되는 熱)이 精鑛과 熔劑의 熔融에 直接 利用됨으로 燃料消費量이 從來法의 燃料消費量보다 “적으며” 反射爐法의 20~40%로 足하다<sup>10)</sup>.

Noranda Reactor는 單一爐에서 高濃度の SO<sub>2</sub> gas가 均一하게 連續적으로 排氣됨으로 濃黃酸 製造에도 最適이다.

Reactor 爐의 欠點으로는 Slag에 銅分이 多量(8~12%Cu)으로 含有된다는 點이다.

따라서 Slag中の 銅을 回收하기 위하여 浮遊選鑛場의 建設이 必須條件이 되고 있다. Slag選鑛場에서 含有銅分의 大部分이 銅精鑛으로 回收되고, 鑛尾로 損失되는 銅分은 0.5%가 되고 있다<sup>11)</sup>.

Noranda Process와 Worcra Process와를 比較해 보면 다음表 3과 같다<sup>12)</sup>

表3. Noranda Process와 Worcra Process와의 比較

	Noranda Process	Worcra Process
給 鑛	團鑛 13~25mm	Screened -4.8mm, +19mm
銅精鑛 (23.7% Cu)	28.6%Fe	30.6%Fe
	27.6%S	32.9% S
	8.2%SiO <sub>2</sub>	3.7% SiO <sub>2</sub>
粗 銅	97.4%Cu	98.7%Cu
	1.5% S	0.7% S
	0.3% Fe	0.15%Fe
	0.08%Pb	0.06%Pb
	0.10%Zn	0.01%Zn
Slag	一次 Slag 8~12%Cu 選鑛後鑛尾 0.5%Cu	0.3~0.8%Cu
銅回收率	98.3%	97.8%
空氣吹入	500cfm/各Tuyser	1,200cfm/各Lance
燃料消費	3.3百萬b.t.u./dry Ton	2.5百萬b.t.u./dry Ton

Noranda Reactor의 酸素富化空氣吹入作業試驗에 依하면 30% 酸素富化空氣 操業으로 日處理 精鑛 800%爐는 1,200%의 精鑛處理가 可能하고 排出 gas의 SO<sub>2</sub> 濃度는 12.5%가 된다. 酸素富化空氣 使用은 燃料所要量을 大幅 節減시키고 있어, 乾鑛屯當 1.16 million btu로 燃料比가 줄고 있다<sup>13)14)</sup>.

#### IV. MITSUBISHI 連續爐

Mitsubishi Metal社에서 開發하고 있는 連續製銅爐는 上述한 Worcra-Converter 및 Noranda-Reactor와는 그 形成이 다르다.

그림 3에 表示한바와 같이 三個爐가 連結된 한 Unit로 되어 있어 銅精鑛이 給鑛되면 繼續 3個爐를 거쳐서 粗銅으로 生産된다.

이 爐는 다음과 같은 利點이 있다<sup>15)</sup>.

① 公害防止가 完全하다.

25% 酸素富化空氣吹入으로 SO<sub>2</sub> 排出 gas는 10% 濃度로 되고, 黃酸製造에 適合하다.

② 建設費 및 製鍊費가 싸다.

反射爐建設費의 70%로 建設되며, 作業이 連續的임으로 工員이 적게 要하고 製鍊費가 싸다. 이 方法은 1961년에 Onahama 製鍊所에 建立된 月産粗銅 500屯의 實驗爐에서 成功하였으며, 月産粗銅 1,500屯의 商業爐를 1971年11부터 建設中에 있다.

이 爐의 作用을 살펴보면 銅精鑛 熔劑 및 酸素富化空氣는 1次爐인 熔鍊爐 上部에 있는 Lance로 Blowing charge 되고 Burner로 加熱熔鍊되던 Slag와 matte로 分離된다. Slag는 2次爐인 Slag cleaning 爐로 계속 흘러 Slag中の matte는 完全分離된다.

1次爐에서의 matte는 3次爐인 Converting 爐로 흘러가 여기서 matte는 還元되어 粗銅으로 된다. 이곳에서 生기는 Slag는 1次爐로 還送된다.

이 爐의 特徵은 1.2.3次 各爐에서 單純反應作用이 이루어지고 있음으로 熔鍊速度가 極히 빠르다는 點이다.

이 熔의 熔鍊速度는 爐體積 M<sup>3</sup>當 5~6%으로 反射爐(1%/M<sup>3</sup>)의 6倍, 自爐熔(2%/M<sup>3</sup>)의 3倍에 해당된다.

이와같이 熔鍊速度가 빠른 理由는 各爐內的 反應이 單純反應作用이고 溶體가 2層으로 形成됨으로 빠른 것이며 精鑛 및 熔劑를 Lance를 통해 直接 bath에 投入함으로 鑛石中の 硫黃酸化熱 및 鐵酸化熱이 效果的으로 利用되기 때문이다.

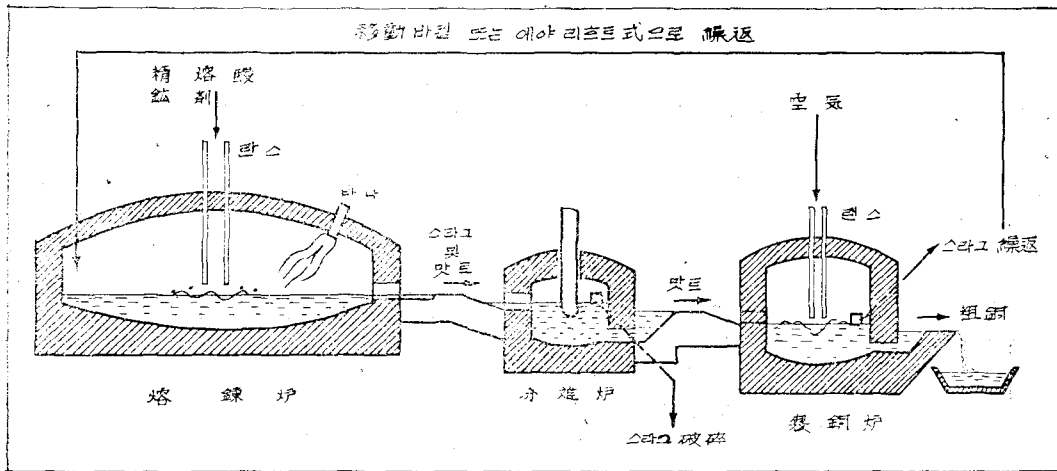
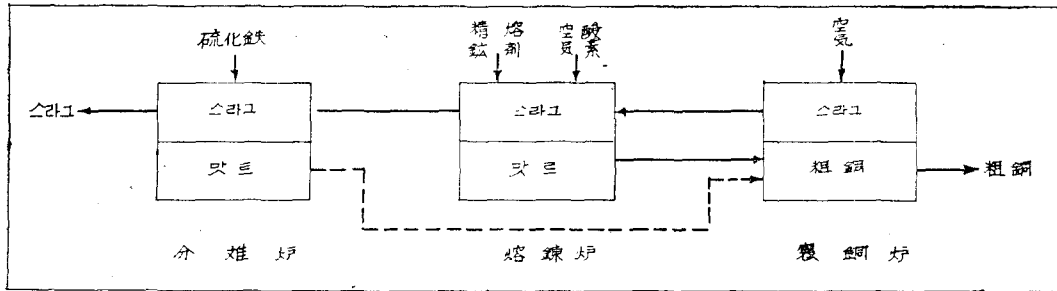


그림 3. Mitsubishi 準商業用 連續爐

Smelting 爐에서의 Slag의 含銅은 1~1.5%Cu 이나 Slag Cleaning에서 Cleaning되어 含銅分 0.5% 以下の Slag가 되어 銅損失이 적다.

粗銅은 Cu 98~99% 이며 S含有은 0.4~0.8%이고 不純物含有가 他 連續法에 比하여 적어 良質의 粗銅이 生産된다.

이 爐의 欠點은 三個爐가 連結되어 있음으로 作業中 한개爐가 故障이 났을 때 그 措置가 容易치 않을 것이란點이다.

### V. 結 言

以上은 現在 工業化 하고 있는 銅連續 製鍊法 中 세가지 方法에 對하여 考察한 것으로 各工法 마다 그 特徵과 欠點이 있다.

銅精鑛이 高品位로 移行되고 있는 現今에 있어 精鑛→matte→粗銅의 二段階製鍊法은 非能率的이라 하겠으며, 精鑛에서 直接製鍊하는 連續

製鍊法은 經濟的인 면에서 有利할 뿐만 아니라 合理的인 方法이다.

連續製鍊法이 開發된지 日淺하여 技術的인 면에서 補完될 事項이 아직도 남아있으나 反射爐熔鍊時代가 連續熔鍊爐 時代로 轉移될 時機는 다가 왔다고 하겠다.

### 參 考 文 獻

- 1) P.B. Bryk et al. U.S. Patent No. 2506557 1947.
- 2) Petri Bryk et al. "Flash Smelting of Copper Concentrate" Journal of Metals 1958.
- 3) 岡添德助 "足尾製鍊所의 自熔製鍊" 日本鑛業會 72卷 822號
- 4) Howard K. Worner, "Worcra metallurgy looks [promising [for Pollution control in Copper Plants" emj-August 1971.

- 5) Worner H.K. "Continuons Smelting and Refining by Worcra process" Advance in Extractive Metallurgy Symposium Sponso-urd by I.M.M. London, April. 1967.
- 6) N.J. Themelis et al. "Production of Copper by the NorandaProcess" The Institution of Mining and Metallurgy London, Octover 1971.
- 7) N.J. Themelis et al. "The Noranda Proce-ss" Journal of Metals, April 1972.
- 8) "Noranda Pilots Continuous Copper Smelt-ing" emj- may 1968.
- 9) 淺野樽一郎 "銅의 連續製鍊法에 관한 基本的 考察" 日本鑛業會誌 Vol. 84 No. 965(68-9)
- 10) K.N. Subramanian and M.J. Themelis. "Copper Recovery by Flotation" Journal of Metal April 1972.
- 11) "Continuous Copper Smelting" Chemical and Procers Engineering, January. 1972.
- 12) C.J. Newman "Oxygen Enrichment and Slag Concentrate Recycling Test on the Noranda Process Pilot Reactor" Noranda Mines Limited Dec. 1972.
- 13) G.C. McKerrow at al "Oxygen in the Noranda Process" Latin American Congress on Mining and Extractive Metallurgy Chile, August 1973.
- 14) "Mitsubishi's Continuous Capper Smeltt ing process goes on stream" emj, August. 1972.

〈謹 賀 新 年〉

韓國技術士會 任員一同

會 長	李 昌 九	名譽會長	金 海 琳
副 會 長	李 獻 卿	顧 問	柳 鐘
"	張 碩 潤		
常任理事	鄭 炳 琚	理 事	羅 允 浩
"	廉 道 有	"	韓 暢 洙
"	林 鳳 鍵	"	金 慶 植
"	許 仁 圭	"	康 文 宗
理事	金 建 圭	"	張 宗 洙
"	張 相 護	"	金 塔 會
"	辛 容 基	"	金 亨 杰
"	成 樂 正	"	金 圭 泰
"	黃 海 龍	"	任 紆 鎬
"	李 璿 根	"	金 性 洙
"	白 士 益	監 事	李 敦 永
"	陸 英 洙	"	李 在 淑