

鑄型 造型法の 現況과 將來

小林 一 典

日本鑄造技術普及協會專務理事

羅 亨 用* 譯

1. 造型法の 現況

日本은 世界二次大戰에 敗한 以後 33年間 工業生産面에서 急激한 成長을 이루었으나, 最近의 石油과동으로 成長이 停滯되었다. 其間 生産技術面에서도 눈부신 變遷이 있었으나, 이 講演에서는 鑄造工業分野에서의 變遷內容을 살펴보겠다.

鑄物材料에서의 最大收獲은 球狀黑鉛鑄鐵의 開發이라 하겠다. 現在 年間 약 100萬ton의 生産으로 美國 다음가는 世界第2의 生産國이 되었다. 이 材料에 關한 問題는 岡林先生이 말씀할 것이므로, 나는 鑄型造型法の 變遷에 대하여 설명하겠다.

(A) 設備問題와 鑄型

1950年頃부터 鑄型造型法中 가장 뚜렷한 變遷은 生砂型 造型機의 進歩와 shell mold 法 및 CO₂-process의 개발이라 하겠다.

生砂型 造型法은 옛날부터 利用된 方法으로 옛날에는 天然産의 鑄物砂를 그대로 사용하였으나, 오늘날에는 거의 合成砂를 사용하게 되었다. 또 造型機는 外製나 日製로서 모두 高壓 高速造型機로 대체 되었다. 또 이들 造型機를 完全稼動시키기 위하여 鑄物砂를 管理하게 되었다. 즉 水分含量, 通氣度, 壓縮強度, 硬度, compactability, moldability 등은 勿論 최근에는 活性粘土量, 鑄物砂中の chamotte量 및 水分凝縮層의 強度까지 測定하여 鑄物砂를 管理한다. 특히 최근에는 seacoal 대신에 光澤炭素를 利用하는 方法이 試圖되고 있다. 그리고 機械造型法은 人力의 5~10倍의 造型能力을 가지므로 量産工場에서는 이 分野에 대한 개발이 계속될 것이다. 현재 日本에서는 生砂型造型機로 약 55%의 鑄物이 生産되고 있는 실정임을 附言한다.

그러나 高壓·高速造型機가 점점 高性能化됨에 따라

* 서울大學校 工科大學 教授

造型機의 값도 비싸게 될뿐 아니라, 여기에 사용되는 副材料도 高級化되어 造型費用이 높게되고 鑄物單價도 높아지는 傾向이 나타나기 始作하였다. 따라서 生産計劃을 樹立하기 쉬운 自家製品生産工場에서는 이러한 造型機를 계속 設備하리라 생각되나, 受注에 依存하는 鑄物專業工場에서는 여러가지 어려운 점이 발생할것이라 생각한다. 그러므로 鑄物專業工場에서는 設備費가 적은 造型法 즉 有機·無機自硬性鑄型의 造型法이 重要視되었다. 다시 말하면 portland cement 鑄型, di-calcium silicate 鑄型, FS法, OJ-cement 鑄型, OJ-流動性鑄型 등에 이어 furan系, phenol系의 合成樹脂 및 물유리(水硝子)-ester系 등의 用法이 널리 보급된 것은 이러한 理由때문이라 하겠다.

(B) CO₂ 鑄型

CO₂ process는 鑄造後 鑄型의 崩壞性이 나쁘며 鑄物砂의 再生이 곤란하고, 특히 최근에는 廢砂의 廢棄가 어렵게 되어 점점 그 사용량이 적게되었다. 그러나 各種 崩壞劑의 開發과 鑄物砂 再生技術의 改善등으로 中小工場에서는 간단한 鑄型에 賞用하고 있다. 從來 水硝子は 年間 약 18萬ton이 消費되었으나, 최근에는 di-calcium silicate法에 사용되는 量을 包含하여도 약 10萬ton으로 줄었다.

(C) Shell mold

Shell mold는 1955年頃부터 oil sand mold에 代替되는 造型法으로 사용되기 시작하였다. 그 當時에는 特許使用料가 너무 비싸서 中小工場에서는 利用하지 못하였다. 그러던中 社團法人 shell mold協會가 創設되고, 政府資金의 支援으로 特許權을 購入하여 싼값으로 特許實施權을 分讓하기에 이르렀다. 그리고 이 協會에서는 特許를 管理하는 한편 技術의 普及과 研究로서 會員工場의 技術向上에 努力하였다.

初期에는 粉末 resin을 사용하였으나, 최근에는

coated sand를 製造하여 年間 약 80萬ton이 生産·消費된다. 특히 no-hexa resin의 開發로 無窒素 coated sand를 製造할 수 있어 鑄鋼이나 球狀黑鉛鑄鐵用鑄型에 利用하게 되었으며, 이들 鑄物에서 pin hole의 鑄造缺陷을 防止할 수 있게 되었다. 또 no-hexa resin을 사용하면 甚한 惡臭가 輕減되어 作業環境이 改善되는 效果도 있다. 現在 no-hexa resin의 年間消費量은 약 6,000ton 정도라고 한다.

Shell mold는 거의 모든 合金用鑄型으로 利用될 수 있으나, 대개 core로 많이 사용된다. shell mold法은 生産성이 높고 鑄수가 精密하여 약 20餘年間 愛用되어 왔다. 그러나 生砂型의 造型速度가 더욱 빠르게 되어 shell mold法이 이에 따라갈 수 없게 되었을 뿐 아니라 金型과 鑄型의 熱變形에 差異가 생겨 鑄物鑄수의 精密度에 不滿이 생기게 되었다. 특히 최근에는 熱energy의 節減이란 關點에서 加熱하지 않고 core box內에서 急速히 硬化하는 cold box法이 注目되어, 現在 약 20個工場에서 이용하게 되었다.

(D) Cold Box 法

現在 日本에서 shell mold에 消費되는 energy는 石油換算量으로 年間 약 80萬kl이라고 推定한다. 이때문에 어느 英國 技術者는 向後 10年뒤에는 shell mold法이 현재의 약 25%정도로 감소되며, cold box法은 더욱 발달된다고 豫見하였다. 이와 같이 cold box法은 將來性이 있는 造型方法이라고 判斷되나, 實際적으로 shell mold法에서 곧 cold box法으로 轉換하기에는 여러가지 問題가 따른다. 即 日本 全域에 걸쳐 이미 設置된 약 51,000臺의 shell molding machine을 한꺼번에 交替하기에는 莫大한 費用이 所要될 뿐 아니라, 現用 金型도 함께 交換하지 않으면 안되기 때문이라 하겠다. 二次大戰中 全破된 日本工場에서는 새로운 shell machine을 續續 설치할 수 있었음에 比하여, 美國과 같이 完全設備된 oil sand用 造型機를 shell machine으로 쉽게 바꿀수 없어 shell machine의 普及에 상당한 기간이 要하였던 것과 같은 狀況이라 하겠다. 이번에는 美國에서 hot box法이나 shell mold法을 cold box法으로 먼저 交替하기 始作한 것은 shell process의 경우와 正反對의 상황이라 하겠다. 따라서 이제부터 新設하는 工場에서는 이들 問題를 잘 檢討하여 決定해야 될 것이다. 왜냐하면 한번 設備된 機械는 向後 10年뒤에 새로운 方式의 機械로 代置할 때까지는 固定되기 때문이다.

(E) Lost Wax 法

옛날에는 lost wax法에 石膏鑄型이 사용되어 왔으

나, ethyle silicate가 實用化됨에 따라 鑄鋼鑄物에도 lost wax法을 利用할 수 있게되어 그 應用範圍는 날로 넓어지고 있다. 歐美에서는 오늘날 航空機 및 兵器部品을 이 方法으로 生産하고 있으며, 生産技術도 高度로 발달하였다. 그러나 日本에서는 年間生産額도 약 3,000萬弗 정도로 매우 적은 양에 불과하며, 아직 技術的인 면에서도 英·美에 미치지 못하는 실정이다.

Lost wax法의 開發初期에는 solid mold를 사용하였으나, 現在는 모두 ceramic mold를 이용한다. 따라서 core도 당연히 ceramic core 또는 soluble core를 사용하게 되었다. 아직 生産段階에 이용하지 못하고 있으나 최근에 原價節減을 위하여 迅速法이 개발되었다. (日産自動車에서 rapid法으로 小量生産하고 있음) 앞으로 lost wax法의 原價節減이란 關點에서 이 方面의 연구가 계속되리라 믿는다.

(F) 其他 鑄型

① Shaw process 또는 Unicast法은 겨우 10餘個會社에서 技術導入하여 金型이나 dies를 小量生産하고 있는 상태이다.

② Full mold法은 板金 press用 金型(自動車用)을 製造할 때 사용되는 경우가 많으며, 그 生産量은 自動車의 model change數에 依存된다고 보겠다.

③ V-process는 日本에서 開發한 매우 興味있는 造型法이다. 오늘날에는 各種實用方案이 개발되어 外國으로 輸出하게 된 造型法이라 하겠다.

④ 重力鑄造法은 輕合金分野에서는 自動車 및 二輪車用 각종 주물과 최근에는 車輪까지도 年間 數10萬個씩 生産하게 되었다.

⑤ 鑄鐵의 金型鑄造法에는 두꺼운 塗型으로 chill을 防止하는 쏘련方式과 얇은 塗型으로 精密度를 유지하며 量産할 수 있는 美國方式이 있다. 그러나 두方法中 쏘련方式에서는 鑄수가 精密하지 못하다는 問題와 美國方式에서는 鑄造後 熱處理가 必要하다는 缺點을 가진다.

따라서 최근에는 鑄造後 빨리 離型시켜 鑄物自體가 保有한 熱로 自己燒鈍하는 方法이 考案되어 鑄込溫度와 離型時間을 精密하게 調整하는 技術이 발전되었다. 그러나 鑄鐵의 金型鑄造法에는 鑄物의 形狀 및 두께 등에 制限이 있어 아무것이나 金型鑄造法을 利用할 수 없다고 생각한다.

⑥ 遠心鑄造法으로 鑄鐵管, cylinder liner, 耐熱鋼管 등을 多量生産하고 있다.

⑦ 低壓鑄造機는 現在 약 250基가 設置되어, 그中 약 半數가 稼動되고 있다. 自動車 및 二輪車用 cylinder

head, hub-drum, 또는 wheel까지도 이方法으로 生産한다. 이 方法에서는 金型의 溫度 및 lining의 調節 등의 作業管理는 勿論 生産性を 向上시키기 위하여서는 3 shift 制를 採用하는 것이 좋다고 한다.

⑧ 其他 溶湯鍛造法이나 또는 Acurad 法등은 將來性이 있는 方法으로 생각되었으나, 그후 별로 발전하지 못하고 있는 실정이다.

2. 鑄物生産量과 消費量과의 관계

다음 問題로 生産量과 消費量과의 關係를 살펴 보자.

1960년부터 1973년까지 日本의 粗鋼生産量은 急激히 增加하였다. 이런 增加추세로 增加한다면 1980년에는 16,000萬 ton에 達할것으로 豫測하였다. 그러나 現在 약 13,000萬 ton에 머물고 말았다. 또 1960~1975年사이에는 日本의 GNP 增加率도 매우 높았다. 이러한 GNP의 增大에 따라서 自動車의 生産量도 1976年度에는 약 700萬臺에 達하였다. 이에 따라 各種 鑄造法(특히 shell mold 法)이 급격히 발달하였으며 鑄鐵鑄物의 生産量도 急增되었다. 그러나 石油과동以後 鑄物生産量은 급격히 減産되었으며, 아울러 水硝子 消費量도 감소되었다. 여하튼 1973年代의 豫想을 뒤엎고 말았다. 다시 말하면 이제는 低成長時代에 突入되었다고 말 할수 있다.

1970年代를 기준으로 1990年代에서의 鑄物消費量의 構成比를 豫測하여 보자. 가장 큰 比率을 차지할 것이 産業機械器具用 鑄物로서 25%에서 31%로 증가될 것이며, ingot mold 및 ingot 用 steel은 連續鑄造로 말미암아 現 25%에서 8%로 감소될것이 豫想된다. 또 自動車도 無制限 增大되지 않을 것이므로 自動車用鑄物도 19%에서 18%로 될것이다. 그의 鑄物構成比는 크게 變化되지 않을 것으로 생각한다.

3. 앞으로의 問題點과 對策

이제까지 現在 使用되고 있는 鑄型의 造型法과 業界의 現況 및 將來 問題에 대하여 설명하였다. 그러므로 이제부터는 將來 問題에 대한 對策에 대하여 설명하겠다.

먼저 豫見되는 問題는 요즈음 全世界的 關心事인 社會環境問題를 包含시키지 않을 수 없다. 다음에 하나 하나 列舉해 보면

- ① 高度成長時代는 끝나고 低成長時代로 되었다는 點
- ② 勞動人口의 老齡化 問題
- ③ 物價·賃金의 引上問題
- ④ 公害對策(騒音, 振動, 排水, 排 gas 등)

⑤ Energy 節約對策

⑥ 鑄造品 構成比의 變化에 대한 對策

⑦ 附加價値의 向上問題

⑧ 自家製作工場의 增加와 專業工場의 立場 等等을 들 수 있다.

高度成長時代가 이미 지난 오늘날에는 以前과 같이 高性能·高價의 設備를 新設할 수 없게 되었다. 사실 이제까지는 어떠한 高性能 高價한 施設을 購入設置하였다고 할지라도 數年內에 完全稼動하여 物價上昇과 함께 施設의 減價償却을 매우 쉽게 할 수 있었다. 그러나 이제는 그렇지 못하게 되었다.

또 人口構成比率에서도 젊은層의 人口比率은 점점 減少하고 있으며 특히 젊은 層의 鑄造工業分野에 就業을 希望하는 數는 점점 적어지고 있다. 이러한 見地에서 省力化問題는 매우 심각한 問題이다. 또 앞으로 物價나 賃金의 引上也 避할 수 없는 問題이다. 勿論 鑄物價格도 物價上昇과 함께 引上된다면 아무런 問題도 야기되지 않을 것이나, 鑄物單價의 引上은 항상 늦어지게 되고, 그만큼 企業의 經營은 어렵게 될 것이다.

Energy 節約對策도 石油를 輸入하는 나라에서는 考慮하지 않으면 안될 問題이다. 前述한 바와 같이 shell core 1 ton을 製作하려면 0.5 바렐의 石油를 사용하여야 된다. 그러나 cold box 法으로는 0.07 바렐이면 充分하다. Cement 鑄型에서는 1 ton의 鑄型에 0.08 바렐이면 充分하나, 造型機械를 사용한 生砂型에서는 混砂, 運搬, 造型 등 모두 合하면 0.1 바렐이 계산된다고 한다. 따라서 造型機를 사용하여 鑄物 1 ton을 生産키 위하여 鑄物砂 10 ton을 사용하여야 된다면 石油換算値로 약 1바렐의 石油가 소모되는 셈이 된다. 그러나 自硬性 有機粘結劑를 사용한다면 粘結劑로서 약 0.3 바렐의 石油, 混砂에 必要한 energy를 包含시키더라도 모두 0.5 바렐이면 充分하다. (鑄物 1 ton 生産에 自硬性 有機粘結劑의 鑄物砂 3 ton이 소비될 것으로 計算한 것임). 그리고 省力化를 위해서는 鑄型의 崩壞性도 고려하여 造型法을 選定하여야 될 것이다.

鑄造品의 量的構成比率은 前述한 바와 같이 큰 變化는 없을 것이나, 材質面에서는 變化가 뚜렷하리라 豫想된다. 예를 들면 灰鑄鐵製 valve는 球狀黑鉛鑄鐵이나 鑄鋼製로 輕量化되며, 自動車用 可鍛鑄鐵品은 球狀黑鉛鑄鐵品으로, 鑄鋼 roll은 合金鋼 roll로 바뀔것이 예상되므로 그 造型法도 역시 變하지 않을 수 없을 것이다.

다음으로 附加價値의 增加에 대하여 설명하겠다. 사실 低成長時代에 대치한 鑄物工業, 다시 말하여 繁榮하지 못하는 鑄物工業을 유지하려면 附加價値의 向上과

不良率減少를企圖하지 않으면 안될 것이다. 1960年頃에는 GC 15程度의鑄物이 30%, GC 25가 50%, GC 30~35가 12%, 球狀黑鉛鑄鐵品이 불과 1.5% 그리고 나머지가合金鑄鐵品이었다. 그러나 오늘날에는 球狀黑鉛鑄鐵品이 15%程度로서 全般的으로 高性能化되었음을 알 수 있다. 그리고 不良率(返品重量÷出荷重量×100)도 1%以下가 30%, 1~3%가 41%, 3~5%가 20%, 5~10%가 5.5%, 10%以上이 0.8%이었으나 최근에는 훨씬 減小되었으며, 이는 위와 같은 努力의 結果라 하겠다.

끝으로 專業工場과 分業工場의 將來性에 대하여 설명 하겠다. 世界的 傾向이라고 볼 수 있는 大企業에서의 自家製作傾向은 점점 增大되며 專業工場의 數는 每年 감소되고 있다. 따라서 專業工場은 그나름대로 將來展望을 살피서 存立할 수 있는 計劃을 세워야 될 줄로 생각한다. 한 國家의 工業發展에 있어 專業工場의 役割이 얼마나 큰 것인지 또는 工業의 基盤으로서 專業工場 없이는 工業發展을 이룩할 수 없다는 사실을 理解해야 된다.

사실 專業工場과 自家製作工場의 立地條件은 확실히 다르다. 即 鑄物의 크기와 數量, 材質의 種類, 生産計劃, 生産設備, 生産原價의 節減方法등등에서 서로 다른 점이 많이 있다. 예를 들면 自動車工業에서는 超高性能 造型機를 設置하여 所謂 cost scale curve에 따라서 原價節減을 試圖할 수 있다. 그러나 專業工場에서 單能量産機械를 設備한다는 것은 매우 어려운 것으로서 多目的 生産體制를 갖추지 않을 수 없게 된다. 그러면서도 原價節減의 壓迫을 받게 되므로 適當한 生産성이 있으며 設備費가 低廉한 方法을 취하지 않을 수 없게 된다. 따라서 自家製作工場에서는 生砂型을 機械造型하는 方法을, 專業工場에서는 自硬性鑄型을 사용하는 方法을 강구하게 된 것이다. 이는 生砂型으로 鑄物 1 ton 당 약 10 ton의 鑄物砂를 사용한다면 bentonite, seacoal, dextrine 등에 대한 費用에 機械減價償却費 및 廢砂處理費등을 加算한 價格과 自硬性鑄型의 粘結劑 및 硬化促進劑의 費用을 加算한 鑄物砂의 價格(이 경우 鑄物 1 ton 당 鑄物砂 3 ton 所要되는 것으로 계산함)을 比較하면 쉽게 結論을 내릴 수 있는 것이다.

이러한 사실을 Cobb-Douglass production function (코브-다그라스型 生産關數式)을 사용하면 쉽게 판단할 수 있으며, 이는 人件費와 粘結劑費用이 밀접한 關係에 있음을 나타낸다.

$$V=A \cdot L^{\alpha} \cdot K^{\beta}$$

V: 附加價值

L: 從業員數

K: 有形固定資產額

α : 生産彈力性

β : 資本彈力性

A는 常數로서 生産技術水準을 나타내는 項이라 하겠다.

이 式에서 알 수 있는 바와 같이 L·K를 높여서 即 巨大한 施設을 完全稼動하여 利益을 올릴 수도 있으나 L·K가 작더라도 技術水準(A)을 높여 附加價値를 높일 수도 있다. 따라서 專業工場에서는 다음과 같은 生産形態를 생각할 수 있다. 즉 常溫有機自硬性 鑄型을 사용할 수 있는 設備로서 砂溫調整機, 混砂機(連續式 또는 batch式), rollover pattern drawing machine (返轉式型拔機), shot blast 機, 鑄物砂 再生處理裝置등을 列舉할 수 있다. 以上 5點을 具備하더라도, 이는 高性能 生造型機 一式에 비하여 훨씬 적은 設備投資로 可能하다. 특히 前述한 바와 같이 造型用 鑄物砂量도 生砂型인 경우의 약 1/3정도임으로 기타 費用도 훨씬 적게 될 것이다. 따라서 常溫有機自硬性 鑄型이 專業工場에서 生産 system으로 採用될 것으로 생각된다. 그러나 이 造型法에도 아직 여러가지 문제가 남아 있다. 即 값이 싸고 安定된 有機粘結劑의 供給, 粘性이 작은 resin의 開發, resin 保存可能期間의 延長 등의 문제와 高性能混砂機의 開發, 鑄物砂再生處理裝置의 改良 등의 課題가 남아있다고 생각한다.

또한 lost wax 法에서도 같은 문제가 提起되고 있다. 現在 日本에는 35社가 lost wax 法을 實施하고 있으나 그중 13個社는 外國에서 技術을 導入하였고, 나머지 會社에서는 自體技術로 生産하고 있다. 그런데 自體技術로 生産하고 있는 工場은 모두 自家製作工場이며 生産量도 每年 增加되는 傾向이라 한다. 즉 自家製品生産工場에서는 生産計劃下에 單一品을 量産하여 生産原價를 낮추므로써 外國에서 技術을 導入한 專業工場에서 도저히 價格競爭을 할 수 없도록 만들었기 때문이다. 그리고 外國技術을 導入한 專業工場에서는 高級品을 目標로 設備한 生産 system이었으나, 現在 航空機나 兵器用部品の 需要가 이들 生産能力을 滿足시킬 수 없는 실정이다. 따라서 剩餘生産能力을 民需品으로 充當시키려해도 價格面에서 경쟁하지 못하므로 經營不振狀態에 놓인 會社도 나타나게 되었다. 이와 같은 狀態에서 우리가 생각할 수 있는 方法이란 企業의 分業化라 하겠다. 즉 高性能의 生産 system을 가진 企業과 빠르고 값싸게 民需用 鑄造品을 供給할 수 있는 企業으로 分業化하는 方法이다. 사실 高性能 鑄造品의 生産 system의 促進이란, 도저히 民間企業으로서의 達成하기 어려운 사업이다. 美國에서도 政府의 強力한 援助로 完成되었다고 한다. 한편 民需用 量産 system도 결코 低級技術이 아니며 그나름대로의 깊은 技術水準이 要求된다. 따라서 앞

으로 우리는 이점을 認識하여 民需用을 對象으로 迅速
法을 위시하여 새로운 process 를 하루 빨리 開發하여
야 될 줄 믿는다.

4. 結 論

日本에서는 이제까지의 高度成長時代는 지났으며, 이
미 低成長時代로 突入하였다. 즉 生産量을 增加시키기
위하여 scale-up 한 先行設備投資가 不可能하게 되었
다.

自家生産工場에서는 自體生産計劃에 따라 生砂型 高性
能造型機를 採用할 것이나, 鑄物專業工場에서는 多目的
量産 system 으로 所謂 5點設備에 의한 生産方式을 推
進할 것이 예상되며

有機自硬性 鑄型用 粘結劑는 日本內 資源問題때문에

furan 系보다 phenol 系의 것으로 바뀔 것이 예상된다.

Energy 節減對策과 生産性向上 및 精密度向上을 圖謀
하기 위하여서는 shell mold 法보다는 cold box 法으
로 바뀔 것이 예상된다.

無機自硬性 鑄型用으로 사용되는 水硝子系에서는 더
욱 良好한 崩壞劑가 開發되어 水硝子 利用法이 改善될
것이며, 그 添加量도 小量으로 될 것이다. 또 OJ ce-
ment 法도 발달된 것으로 생각된다.

Lost wax 法에서는 軍·民需用이 確實히 分業되어
각각 독특한 system 으로 研究發展될 것이며, 각 企業
에서는 이러한 趣旨를 徹底히 理解하게 될 것이다.

또 老齡化에 따른 省力化問題는 robot 나 自動造型機
의 開發로 解決할 것으로 생각한다.

두서없는 얘기를 장시간 들어주어서 대단히 감사하다.