

# Induction Heating에 對하여

技術士 金 容 直

## 1. 序 言

誘導加熱의 利用은 그 適用範圍가 넓고 興味 있는 分野의 하나로서 研究를 거듭할 수록 그 利用度의 發見이 容易할 것이다. 英國의 著名한 詩人 Carlyle 氏는 그의 詩中 一節에 “人間은 工具를 使用하는 動物이고 工具없이는 아무것도 없다”라는 詩를 읊은 바 있는데, 이것은 여러 가지 意味로 引用解釋이 되겠으나, 여러가지 工具使用의 趨勢는 人類萬物에의 征服鬭爭이나 文明開化發展에 貴重한 道具임에 틀림 없으며, 더우기 近代機械工業의 發展과 더불어 材料中 特別히 高度의 耐熱 耐磨粒性 金屬等은 漸漸 技術的으로 開發되지 않고서는 各種 産業部門에 큰 貢獻을 할 수가 없게 된 것이다. 人類에 依하여 가장 빨리 發見된 것이 銅이라고 하겠으나(Egypt 4400 B.C), 뒤를 이어 鐵이 發見된 以來 人間과 金屬의 不可缺한 關係는 石器時代로부터 많은 變遷을 가져왔으며, 그 飛躍的 成果의 하나로서는 粉末冶金에 依한 Cemented Carbides Tool을 들 수가 있겠다. 이 主要原料로서의 Disintexgration 된 Tungsten Metal Powder는 產出量이 많은 Scheelite의 精鍊法과 그 純도가 높은 粉末이 마련됨으로써 一定한 工程을 거쳐 生産할 수 있게 되었다.

## 2. 變遷 및 應用

誘導加熱은 金屬 加工技術의 한 分野로서 從來의 casting, forging 또는 welding drilleng 등의 方法과 같이 先進國에서는 工業적으로 實用化되고 있어, 大量生産方式의 하나로서 脚光을 받게

되었으며 (日本 900 ton 以上) 機械 部分에는 特別히 Powder Metallurgy를 利用하여 應用되고 있는 實情이다. 筆者는 誘導 加熱 裝置를 利用하여 生産되는 製品中 가장 興味를 느끼게 하는 것이 Cemented Carbides Production 일 뿐더러 機械 加工性이 重要하고 어려우므로 參考로 이에 對하여 簡單히 말하고자 한다. Scheelite부터 製品의 檢査에 이르기까지의 그 工程은 大略 다음과 같으며 元素 粉末 冶金技術은 그 自體 單體粉末 또는 合金粉末을 die內에 充填시키고 어떤 壓力에 依하여 加壓되어 所要 dimension으로 壓縮 成型한 後에 爐內에서 加熱 燒結 함으로써 비로서 製品을 完成하는 것이다. 이때의 爐內狀況, 溫度, 昇溫時間, 壓縮型條件, 粉末의 混合法等은 여러 가지 影響을 받게 되며, 이 中에는 또한 條件이 많아 該事業은 俗稱 女子의 마음과 같은 것이라고 하는 이도 있다. 鑽石을 粉碎한 뒤에 Tungsten Powder를 얻을 때까지는  $\text{CaWO}_4 \cdot \text{HCl} \xrightarrow{\text{NH}_4\text{OH}} \text{H}_2\text{WO}_4 \xrightarrow{\text{A. P. T.}} \text{WO}_3 \xrightarrow{\text{Hydrogen reduction}} \text{Tungsten Powder} \rightarrow \text{Powder metallurgy}$ 로 되겠으나 이 粉末은 지금까지의 熔解法과는 다른 方法에 依하여 製造되며 性質은 鑄物에 가깝고 金屬學의 으로는 合金鑄物의 一部에 屬하고 있다. 炭化 工程後는  $\text{W. Powder Carbon} \rightarrow \text{Mixing} \rightarrow \text{Carburizing 爐} \rightarrow \text{Mill} \rightarrow \text{We Powder (Co, Tic, Tac)} \rightarrow \text{Milling} \rightarrow \text{Drying} \rightarrow \text{Graded Powder} \rightarrow \text{Compacting} \rightarrow \text{Pressing} \rightarrow \text{Sintering}$ 의 工程이 끝나므로써 이후의 製品은 目的하는 바에 따라서 여러가지 應用方法으로 誘導加熱裝置(Induction heating equipment)를

利用하게 되는 것이다. 即 高硬度的 材料, 耐熱材料의 使用範圍 및 度數가 많아짐에 따라 이러한 것의 加工 또는 熔解製造, 熱處理에는 그 強度, 硬度, 靱性, 加工硬化性等에 다른 超硬合金 工具를 必要로 하게 되는 것이다. 이러한 諸問題를 解決하기 爲하여 先進 國家에서는 電解 研削法, 誘導加熱超音波加工法, 放電加工法이 發達되어 오늘날 各 産業分野에 있어 從來 不可能 하였던 加工處理를 可能하게 하였으며, 또한 經濟的으로도 製品價額의 引下方案으로 開拓되어 前進하고 있는 것이다. 우리나라에서도 相當數의 工場, 研究所 등에서 應用되고 있으나 高周波 技術은 그 應用이 各方面에 綜合的인 技術과 知識을 必要로 함으로써 技術者 相互間의 技術交換이 強力히 要求된다. 筆者는 數年前 誘導加熱을 利用한 여러가지 加工法中 特히 Cement Carbides Production의 利用을 美國 Lepel Co.에서 얻은 資料를 根據로 이에 對한 原理 및 應用方法을 記述 하고자 한다.

### 3. 原 理

高周波 電流에 依한 誘導加熱의 理論은 이미 1920년에 英國의 Northrup氏에 依하여 그 基礎的인 여러가지 問題가 確立되었으나 技術的인 應用은 늦어져 10餘年前부터에야 實用段階에 들어갔다 그 理由는 放電加工의 境遇와 같은 問題가 包含되어 있기 때문이다. 即 高周波 加熱裝置는 電氣的 高周波發生裝置와 機械的인 材料加熱 裝置를 Combination 한 것으로 이것을 使用할 境遇, 金屬材料의 燒入 其他의 應用 및 그 範圍는 多方面으로 利用되기 때문에 綜合的인 技術과 知識을 必要로 하고있는 것이다. 또한 最近의 眞空管式 高周波 發生裝置에 있어서는 眞空管의 製作技術이 高度로 要求되는 등 各分野의 技術協助가 要求되는 點도 있다.

電流에 交流 直流의 區別이 있음은 누구나 다 아는 사실이나, 交流 가운데에도 周波數(진동수)가 높은 高周波 電流를 使用하면 어떠한 物體 即 熱傳導가 不良한 材料나 두터운 材料라도 容易하게 加熱되며 이러한 方法을 高周波 加熱法이

라고 하여 (Fig 1 參考) 從來의 加熱法 即 外部 加熱法에 對하여 內部 加熱法이라고 볼 수 있는 것이다. 이러한 方法에는 亦是 長短點이 있겠으나 特異한 點을 살펴 보면

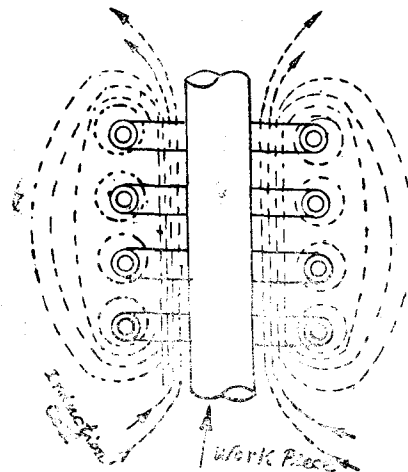


Fig. 1

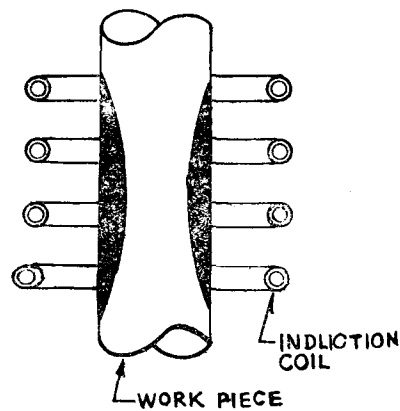


Fig. 2

- 1, 2 : 高周波 誘導加熱로 Heat Pattern의 形成
- 3 : AC 電流가 傳導體로 흐르면 磁場이 傳導體 周圍에 形成된다.

實際에 있어서 周波數, 加熱時間, Power density (KW/in<sup>2</sup> of Surface within the coil) 熱傳導度는 相當히 重要한 것으로서 Coil設計時 注意하여야 할 點이다. 우리 周圍의 工場이나 研究所에서는 熱을 加하여 일하는 作業方法이 大端

히 많다. 木材나 其他 藥品等を 乾燥시키거나 金屬을 녹여 鑄型에 鑄込한다거나 鋼의 熱處理, Plastic의 硬化作業等 그 例를 우리는 보고 있다. 過去에는 石炭, 重油, Gas, 木炭, 長祈等の 燃料를 使用하거나 電氣를 利用하여 Hot air 또는 直接 間接으로 얻은 熱로 物質을 加熱하여 왔다. 그러나 材料의 表面에는 반드시 空氣가 吸着, 接觸함으로써 이루어지는 層이 있어 이 層이 材料의 表面을 形成하고 있는 것이다. 이때의 空氣는 가장 熱傳導가 不良하고 材料가 絕緣物이면 内部의 熱도 傳導가 잘 안되므로 加熱에 長時間을 所要하게 되어서 不經濟인 것이다. 또한 材料를 乾燥할 때는 外部의 水分이 内部보다 더 速히 蒸發하고 마는 不合理的 點이 發生하는 것이다. 이러한 不合理的 方法을 解決시켜주는 것이 誘導 加熱法이며 材料에 따라서 두가지 方法이 있다. 金屬과 같은 電氣導體인 境遇는 内部보다는 表面이 加熱되는 것으로 미루어 보아 誘導加熱이라고 불리우고 있으나, 고무 기타의 絕緣物의 境遇에는 内部부터 加熱되므로 이것을 誘電加熱이라고 부르게 된다. 이와 같은 方法에 依하면 材料는 熱傳導面에 있어서 良質이건 不良質이건 또는 얇은 것이건 두꺼운 것이건 短時間內에 加熱이 되며 特히 木材 等を 乾燥할 때에는 内部부터 溫度가 上昇되므로 蒸氣壓은 内部부터 外部로 向해서 膨脹되어 이로 因하여 乾燥가 빨라지는 것이다.

#### 4. 種類 및 分類

高周波를 利用하는 여러 가지 形態의 作業에 따라서 이를 分類하면 널리 利用되고 있는 放電加工을 들 수 있으며 이는 다시 部分破壞, Spark discharge, 電弧放電 Glow discharge 등으로 區分되며 이는 放電現象을 利用하여 徒來의 工具로서는 可히 生覺도 못했던, 破質材料의 加工도 無難히 作業을 遂行할 수 있는 것이다. 瞬間적으로 發生하는 熱energy에 起因하는 局部的 高溫現象(10,000~15,000°C)을 利用함으로써 精度는 1/100 mm의 것을 얻을 수가 있다. USSR에서 研究開發한 基本 Lazarenko 回路方式을 圖

示(Fig 2)하면 다음과 같다.

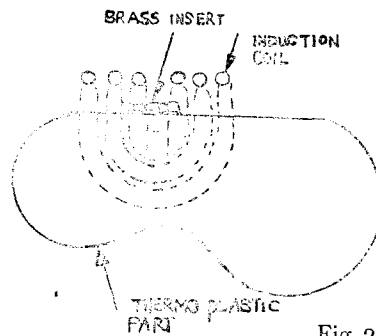


Fig 2

여기서 興味있는 것은 放電加工을 利用한 材料의 切屑을 모아서 顯微鏡으로 擴大하여 보면 10,000°C~15,000°C의 高溫에서 生成된 것이므로 아름다운 表面을 가진 球(Ball)로 되어 있는 것이다. 따라서 電壓을 調整하면 大小의 球를 얻어 超小型의 Ball bearing이 생겨 이것을 利用케 될 날도 있을 것으로 믿어진다. 附隨하여 加工體에 直接 電流를 흘리지 않고 高周波 振動을 利用하여 被加工物에 工具를 接觸解離하면서 加工하는 超音波 加工法을 들 수 있겠다. 이것은 振動數가 16,000~29,000 $\infty$  振幅은 0.1 mm 以下로 알려져 있다. 이 외에 扁風機의 guard disc 機械附屬의 塗裝等 化粧法에 利用되고 있는 電氣塗裝法은 塗料의 微粒子 狀態에 陰電氣를 걸어 이것을 陽電氣를 지닌 物件에 附着되게 하는 것으로 參考로 記述하던 電磁石에 電流를 通하면 鐳廳이 달라붙는 簡單한 原理를 利用하는 電磁 加動裝置를 說明할 수 있다.

#### 5. 高周波 加熱法

이것은 大體로 電動發電機 Spark discharge 眞空管式을 列擧할 수가 있다. 發生裝置부터 살펴보면 交流는 電氣의 波(wave)라고 생각되고 있으므로 一秒間에 그 波가 몇회 上下運動을 하느냐 하는 그 數를 周波數(Cycle)라고 하며 한 波의 길이를 波長이라고 불리고 있다.

그리고 그 周波數의 單位를 C(cycle)라고 하며 1,000 사이클을 KC, 100萬 사이클을 MC로 表示한다. 따라서 波長을 M, 周波數를 MC 單位

로測定하면 波長 =  $\frac{300}{C}$ 의關係가成立된다. 卽周波數 3 MC라고하면 波長은 100 미터인 것이다. 우리 나라에서는 50 C의 AC를 사용하고 있음은 누구나 아는事實이나 普通 우리는 이 이상의 높은 C를 高周波라고 한다. 그러나 엄밀한意味에서는 3 MC 이상을 高周波라고 불리우는 것이다. 또한 높은 高周波 일 수록 波長은 짧으므로 超短波라고 불려도 큰 差異는 없다고 보겠다. 이 點을 製作되는 機器에 對하여 綜合하여 보면 Low frequency는 400 MC, High frequency는 3~10 MC, Small unit로서는 25 MC로 maker에서도 通用되고 있다. Dual frequency하면 Low frequency와 High F.로 分離가 된다. 高周波 發生裝置는 出力(out put)도 考慮하지 않을 수 없으며, 周波數가 높아 질에 따라 큰 出力을 낼 수 없는 것을 우리는 알아야 하겠다. 電動發電機는 高周波를 發生하는 電動機의 모오타를 回轉시키는 것으로서, 周波數는 1~3 Kc 정도이나 大電力 2,000 Kw의 出力을 가질 수도 있으며 世界의 製作所中 有名한 메이커를 소개하면

U S A Method X-Co.

Lepel High frequency Lab. Inc.

Ajax Magnethermic Corp.

英國 Sparcatron Process Co.

獨逸 Elbo-Verfahren

日本 Japan Co.

眞空管式은 眞空管의 製作技術이 發達됨에 따라서 發展한 最新의 方法이라고 할 수 있으며 그 利用度도 높다. 즉 3,300 V의 AC를 Rectifier(整流器)를 使用하여 1,600 V의 直流도 整流하여 發振回路를 形成한다. 發振回路는 蓄電器와 코일을 連結짓는 回路를 말하는 것으로서 高壓의 電流가 蓄電器의 한쪽 卽 +쪽에 充電되면 즉시 Condence 되어 放電하여 코일을 通過하여 蓄電器의 反對側부터 充電이 된다. 이와 같이 되면 이 때에 反對側이 +로 되고 前과는 달리 逆方向의 充電이 끝난다. 充電이 끝나면 다시 放電하고 코일을 通하여 다시금 蓄電器(普通 5~7.5

uF)가 먼저 充電되던 쪽을 陽極化한다. 이와 같은 電流가 코일中을 흘러 方向을 바꾸면서 往復移動을 하게 되는 것이며 코일부터 그 往復의 速度에 따른 高周波의 交流가 發振하게 되어 있는 것이다. Fig. 3은 放電電流가 振動하지 않는 整流器 回路를 表示한 것이다.

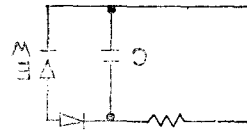


Fig 3

또한 電氣 抵抗 때문에 漸次로 Energy를 상실하여 弱하게 되므로 一定한 高周波를 發生시키기 爲하여 眞空管으로 增幅하게 되는 것이다. 이러한 方式으로서는 400KC~10 MC까지 높은 高周波를 發生시킬 수 있으며 出力도 300 Kw 程度까지 使用可能한 것이다.

外國의 有名 maker에서는 180~400 KC 出力도 100~150KW의 大容量의 裝置도 製作되고 있다.

이상은 分類別로 原理를 簡單히 說明하였으나 各各의 裝置는 各己 特徵이 있으며, 誘導加熱을 目的으로 할 境遇 또는 製鋼 金屬을 大量 熔解시키고자 할 때에는 出力이 큰 電動發電機가 最適이라고 볼 수 있겠으며 少量의 目的일 때는 眞空管式이 많이 利用되고, Spark 放電式은 그 利用度 價値를 評價할 때 中間程度가 될 것이다. 또한 鋼의 表面燒入 및 Brazing과 같은 境遇에는 周波數가 높을 수록 얇은 層이 加熱되므로 작은 齒車핀 等の 小品處理에는 眞空管式의 利用이 좋은것으로 본다.

## 6. 應 用

誘導加熱에 依한 鋼의 燒入에 對하여 說明을 하면 어느 一定한 길이의 棒에 電流를 흐르게 하여 電流가 DC일 境遇에는 棒中에 均一하게 電流가 흐르게 되므로 똑같이 均一하게 加熱이 되나 AC일 境遇에는 周波數가 높아 질 수록 表面의 얇은 層은 흐르게 되므로 表面만 加熱되는 Surface Hardening의 結果를 가져온다. 物體를 Fig 1과 같이 高周波 電流를 흐르게 하여 그 中에 Work Piece를 넣어도 加熱되는 것이다.

換言하면 Transformer의 一次코일에 AC를 통하게하면 2次코일에도 똑 같은 周波數의 AC가 흐르게 된다. 이와 같은 理由로서 間接적으로 加熱하는 것이 Induction Heating인 것이다. 따라서 發振回路의 코일에다 材料의 加工物을 삽입하고 高周波를 걸것 같으면 極히 짧은 時間內에 卽 數秒內에 內部는 200°C 內外로 溫度가 上昇

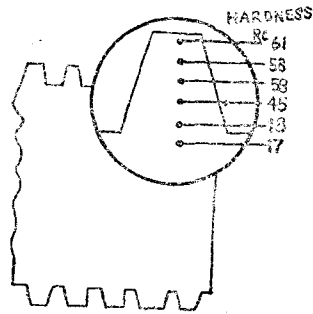


Fig. 4-1

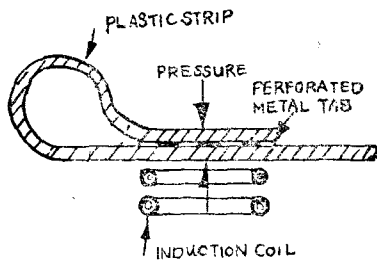


Fig. 4-2

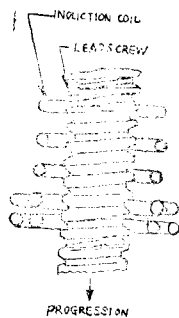


Fig. 4-3

- 1: 齒車의 部分的 硬度를 維持하기 爲한 作業例
- 2: Metal Tab의 作業例
- 3: Lead Screw의 表面硬化例

하고 表面層은 65°C 內外의 溫度로 加熱되는 것이다. 여기에 물등을 噴霧시켜 急冷시키면 表面만 硬化하여 Hardening이 되는 것이다. 이런 境遇 周波數가 높을 수록 燒入表面의 層이 얇게 된다. 이 例로서 直徑이 작은 鋼의 材料나 齒車部分品 된 等의 表面만 燒入하는데도 그다지 큰 힘이 안드는 것이다. Fig. 4는 여러가지 種類의 物體를 誘導 加熱裝置에 依한 作業例를 例擧한 것이다.

高周波 加熱을 利用하기 以前에는 材料 全體를 加熱하기 때문에 長時間의 消費가 不可避하였고 材料의 成分 形狀에 依하여 作業의 可否가 決定되기도 한 問題點들을 우리는 體驗한 바 있으며 誘導 加熱을 利用한 近來의 作業 例는 多種多樣 하지만 超硬工具의 tip Brazing에 對하여 살펴보면 硬質合金과 鋼과의 熱膨脹係數는 約 半인 故로 shank와 tip 과를 Brazing 할 때는 大端히 큰 熱 strain을 남긴다. 이 現狀은 곧 製品의 구열을 남기게 되는 것이다. 이러한 Strain 發生 防止를 爲하여 채택된 것이 Torch brazing인바 이는 손이 많이 가고 不經濟的인 點等의 不滿足한 問題가 많아 大量生産에도 適當한 高周波 加熱方式을 利用하게 되는 것이다. 高周波 電流가 흐르고 있는 加熱 코일로부터 받는 高周波電流 에너지를 熱로 바꾸므로써, 金屬體를 加熱하는 것이다. 따라서 正確한 意味에서는 Induction heating이라고 부른다.

加熱 코일의 應用 例를 Fig. 5에 圖示하였으며 코일의 設計에 따라 무엇이든 開發할 수가 있다고 본다.

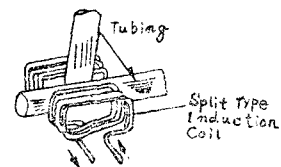


Fig 5

加熱 코일은 被加熱體의 表面을 흐르는 電流를 誘發하게끔 被加熱體를 勵磁하는 磁場을 만든다.

이 誘發된 電流에 對하여 被加熱體의 抵抗이 加熱作用을 이끄는 것이다. 被加熱體의 溫度는

그 金屬內에 熱의 誘電的인 發生에 依한 것이요 電氣回路는 아닌 것이며, 加熱하기 爲해서는 加熱 電流가 흐르고 있는 코일을 加熱體에 가깝게 한다. 高周波 電流는 terminal 부터 흘러 들어간다.

이 電流는 誘導 코일의 電流 方向과 反對 方向으로 向한 磁場을 이룬다. 따라서 電磁場內의 被加熱物體의 表面이 加熱된다. 이 加熱 코일은 直徑 3~5mm의 銅管으로(Cadominum Coating한 것도 使用됨) 製作되며 熱로 因한 損傷을 防止하기 爲하여 管中에 물을 흐르게 하여서 冷却하고 있는 것이다. 普通 20 KW 內外 容量의 裝置이면 40 Gal/hr.의 물이 消費게 되며 Circulation 방식에도 Open 및 Close 型이 있다. Fig. 6은 코일의 設計 例를 들어 各種 用途에 應用되고 있음을 表示한다.

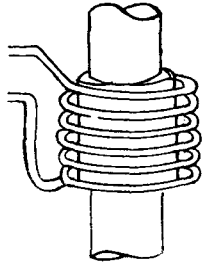


Fig. 6-1

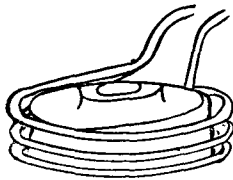


Fig. 6-2

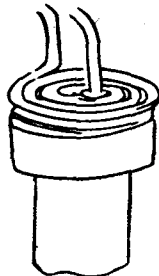


Fig. 6-3

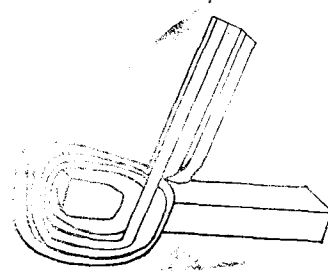


Fig. 6-4

## 7. 結 論

誘導 加熱裝置의 簡單한 原理, 種類, 利用方法 등을 該分野에 興味를 가질 수 있도록 記述하였으나 참으로 理解하기 쉬우면서도 直接 應用 作業을 함에 있어서는 許多한 難問題도 있을 것이므로 이것이 계기가 되어서 이 方面에 關한 專門 書籍이나 有名 maker에서 發刊되는 研究 報告書 文獻 등을 利用, 工夫를 하여 나간다면 應用 코일 設計에 對한 Idea도 開發되어 갈 것이고 該方面의 Gemüse Doktor가 많아져서 우리나라 工業發展의 一翼이 된다면 보다 기쁘게 生覺될 것이다.

[筆者: 大韓重石 技術課長]