

## 酸化鐵 焙燒에 따른 粉體 特性 및 Sr-ferrite 磁石의 燒結 特性

張 世 東

카본로렌 코리아(주) 개발팀

### Characteristic of Iron Oxide and the Magnetic Properties of Sr-ferrite by Roasting Temperature of Iron Oxide

Se-Dong Jang

Magnet Division, CARBONE LORRAINE KOREA, 380 Chonpyung-ri, Samsung-Myun, Eumsung-gun, Chungbuk, KOREA

#### 요 약

製鐵所 冷延 工程의 鹽酸 廢液에서 ruthner process 公法으로 製造된 酸化鐵을 使用하여 2차 焙燒 溫度변화에 따른 酸化鐵의 粉體 特性을 調査하였고, 산화철과 스트론튬을 乾式 混合 및 煨燒後 Sr-ferrite 磁石을 製造하여 磁氣的 物理的 特性을 調査하였다. Ruthner process의 酸化鐵을 2차 焙燒를 實施한 경우, Cl<sup>-</sup> 含量이 적고 粉體 特性이 安定的인 焙燒溫度는 800°C 부근으로, 平均 粒子(APS)는 1.5 μm, apparent bulk density(ABD)는 1.4 g/ml 이며, Cl<sup>-</sup> 含有量은 0.05% 以下를 나타내었다. Ruthner process에서 製造된 酸化鐵을 vibrating disk mill에서 1차 粉碎를 실시한 경우, Sr-ferrite magnet의 保磁力(HcJ)은 229 kA/m에서 251 kA/m로 향상하였다. Sr-ferrite magnet의 燒結 溫度 變化에 따른 殘留磁束密度와 保磁力의 회귀식은  $Br = -0.258HcJ + 494$ 의 函數 關係를 나타내고 있으며, 成形 中 加한 磁場 方向과 垂直方向에 따른 收縮比는 酸化鐵의 2차 焙燒 溫度 800°C까지는 1.6으로 安定的인 板狀形으로 結晶 成長을 나타내고 있으나, 그 以上の 溫度로 2차 焙燒한 酸化鐵을 使用한 경우에는 燒結에서 結晶이 더 커진 것으로 判斷된다.

주제어 : 산화철, 스트론튬 페라이트, 자기특성, 소결자석.

#### Abstract

This experiment was carried out to examine the effect of iron oxide roasting for Sr-ferrite magnet. Chloride content was decreased with raising the 2nd roasting temperature of iron oxide for ruthner process iron oxide. The optimization temperature for roasting of ruthner process iron oxide was around 800°C as average particle size 1.5-1.9 μm, apparent bulk density 1.4 g/ml and chloride content 0.05%. The relation between Br and HcJ by sintering temperature for Sr-ferrite magnet was found to be  $Br = -0.258HcJ + 494$ . In case of having a vibrating disk mill for the ruthner process iron oxide, the magnetic properties were Br 421 mT and HcJ 251 kA/m.

Key words : Iron oxide, Sr-ferrite, Magnetic properties, Sintered magnet.

#### 1. 序 論

Ferrite는 2價 金屬 과 酸化鐵로 이루어진 것으로서 酸化鐵은 필수적인 原料이다. Soft ferrite 경우 酸化鐵의 精製등으로 不純物을 최소화하여 使用하고 있으나, hard ferrite 경우는 酸化鐵의 不純物등을 重要하게 생각

하지 않고 있다. 그러나 Ferrite 磁性材料뿐만 아니라 기타 여러 材料에서 全體의인 品質을 지배하는 것은 基本原料의 性質이다. 즉 良質의 原料를 製造하기 위해서는 어떤 基本原料로부터 出發하여 精製 및 粉末調整을 하느냐가 가장 중요한 문제가 된다. 따라서 ferrite用 酸化鐵( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 粉末로부터 최종 ferrite化 했을 때의 物性關係를 예측하기 위해서는 우선 酸化鐵의 出發原料의 제어가 필요할 것이다.

대표적인 酸化鐵로 赤色酸化鐵이 있는데 이  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

\* 2003년 10월 10일 접수, 2003년 12월 1일 수리  
\* E-mail: jsd9999@hanmail.net

는着色顔料로 널리 쓰일 뿐 아니라 ferrite用 磁性材料의 主原料로 軟質(soft) 및 硬質(hard) ferrite에 모두 使用되고 있다.

1930년대에는 酸化鐵中の 不純物의 混入을 피하기 위해 電氣分解 製品을 쓰는 경우가 많았다. 電解鐵을 窒酸液으로 溶解시키면  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 로 된과 함께 反應熱에 의해 溫度가 오르게 된다. 이 때문에 일부가  $\alpha\text{-FeOOH}$ 로 變化하고 더욱 加熱固化시키면  $\text{NO}_2$ 가 發生하여  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 가 된다. 당시에는 ferrite用의 다른 性格化合物 즉 ferrite結晶을 形成하는 2價金屬 酸化物도 똑같이 酸化시켜 使用하였다. 이 같은 窒酸 酸化法은 1950년경 까지 계속 사용되다가 黃酸鐵을 焙燒시켜 얻은  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 를 쓰는 方案이 나왔다. 1966년경에는 一部  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  및 炭酸鐵의 酸化 生成物 그리고 티타늄 製造工程에서의 副産物을 쓰는 方案이 나왔고, 1969년경 부터 鹽化鐵의 分解 生成物을 사용하는 경향이 많아져 現在 거의 이 方法에 의한 酸化鐵이 ferrite 用 原料로 쓰이고 있다

酸化鐵은 製造方法에 따라 結晶構造, 粒子形狀 및 粒度가 달라지게 되고 이에 따라 그 機能 및 特性이 달라지고 適用되는 用途도 달라지는 것으로 알려져 있다.

Ferrite는 그 組成에 따라 電磁氣의 特性, 誘電 特性, 物理化學 特性이 변하기 때문에 原料의 酸化鐵의 純度は 높으면서도 安定하게 供給되어야 한다. 또한 ferrite 組成中에 다량 포함되는 性格化合物(hard ferrite에서 Ba, Sr 등)에 대해서도 含量이 一定하도록 維持시켜야 할 것이다. 또한 陰이온은 霧圍氣를 汚染시키고 爐의 손상이나 ferrite 燒結體의 異常結晶成長의 原因이 되는 것으로 알려져 있다. Ferrite化 反應은 固相反應이기 때문에 반응성에 관한 粒子徑, 粒度分布, 粒子形象, 比表面積, 粒子의 凝集狀態 및 이들과 밀접한 관계를 갖고 있는 부피 밀도, 壓縮密度, 流動性, 造粒性, 混合性, 收縮率, 密度 등의 物性도 중요하다. 一般의으로 粒子가 작고 表面에너지가 클수록 反應성이 좋지만, 특히 乾式 混合에 의한 ferrite化 反應에서는 粒子의 混合, 分散性 및 反應성에 影響을 주기때문에 製造 工程上 適合한 酸化鐵의 製造條件(溫度, 霧圍氣) 및 製造工程(粉碎方法 등)에 따른 粉體 特性을 確認해야 할 것이다.

本 實驗은 製鐵所 冷延 工程의 鹽酸 廢液에서 ruthner 公法으로 제조된 酸化鐵을 사용하여, 2次 焙燒 溫度 변화에 따른 酸化鐵의 粉體特性을 調查하고, ruthner process 에 의한 酸化鐵과 2차 焙燒 溫度에 따른 酸化鐵을 使用하여 Sr-ferrite magnet를 製造하여 酸化鐵의 粉體 特性이 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 物理的 特性에

미치는 影響을 調查하였다.

## 2. 實驗方法

本 實驗에서는 酸化鐵의 焙燒 溫度에 따른 粉體 特性 調查 및 Sr-ferrite의 煨燒 및 燒結 特性에 미치는 影響을 調查하기 위하여 出發 原料로써 ruthner process에서 제조된 酸化鐵을 사용하였다.

製鐵所 冷延 工程의 鹽酸 廢液에서 ruthner公法으로 製造된 純度 99%이상,  $\text{SiO}_2$  150 ppm 및  $\text{Cl}^-$  0.15%의 酸化鐵을 使用하여 시험로에서 培燒 溫度에 따른 粉體 特性 및  $\text{Cl}^-$  含量을 調查하였다. 또한 ruthner process에서 얻어진 酸化鐵 및 試驗爐에서 溫度別 2次 培燒 처리한 酸化鐵을 使用하여 Sr-ferrite magnet를 제조하여 特性을 調查하였다. Fig. 1은 一般의인 Sr-ferrite magnet의 製造 工程圖를 나타내었다.

Ruthner process로 製造된 酸化鐵의 2次 培燒溫度에 따른 粉體 特性을 調查하기 위하여 試驗爐에서 200~1200°C까지 200°C 간격으로 變化시키면서 1時間 동안 熱處理를 實施하였다. 이렇게 얻어진 酸化鐵에 대하여 Valhard 濕式 分析法에 의하여  $\text{Cl}^-$  含量을 調查하였고, 同一 條件에서 粉體 特性을 調查하기 위하여 vibrating disk mill을 使用하여 酸化鐵 200 g을 5分 동안 쇄쇄를 하였다. 쇄쇄된 산화철에 대하여 fisher sub-

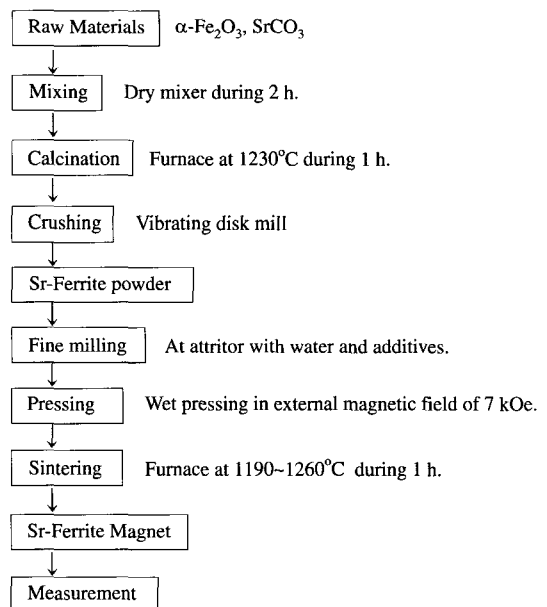


Fig. 1. Process procedure of Sr-ferrite magnet.

sieve sizer를 사용하여 平均粒度를 測定하였으며, 粉體 特性 測定器를 이용하여 apparent bulk density를 調査하였다.

煨燒 溫度를 變化시킨 酸化鐵을 使用하여 Sr-ferrite magnet를 製造하고자 SrCO<sub>3</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 몰비 5.95 및 前添加 SiO<sub>2</sub> 0.2 wt%의 組成으로 乾式 混合을 실시하였다. 濕式混合의 경우, 海쇄에 의한 酸化鐵 粒子의 形狀 (粒子크기, 비표면적등)과 Cl<sup>-</sup> 含量등이 거의 同一 條件으로 形成되기 때문에 酸化鐵의 煨燒에 따른 Sr-ferrite magnet에 미치는 影響을 精確하게 調査할 수 없어서 乾式 混合方法을 使用하였다.

각 溫度별 煨燒 처리한 酸化鐵을 使用 乾式 混合된 原料를 시험로에서 1230°C에서 한시간 동안 煨燒를 실시하였다. 煨燒된 粉末에 대하여 vibrating disk mill에서 하소분 300 g을 5분 동안 粗粉碎를 實施하여 煨燒 粉末의 粉體 特性을 調査하였다. 조분쇄된 煨燒 粉末을 소결조제로써 微粉碎 中 SiO<sub>2</sub> 0.3 wt% 및 CaCO<sub>3</sub> 1.2 wt%를 添加하여 平均 粒度 0.85 μm까지 attritor에서 濕式 微粉碎를 실시하였다. 微粉碎된 原料를 外部 磁場 7 kOe 中 成形壓力 450 kg/cm<sup>2</sup>에서 濕式 磁場 中 成形(wet-anisotropy magnet)을 실시하였다. 成形된 시편은 시험로에서 250°C/h씩 增加하여 空氣 中 1190~1260°C 사이에서 1시간 燒結 후 爐 內에서 常溫까지 冷却 處理하였다. 또한 燒結 雰囲気에 따른 磁氣 特性 및 結晶構造를 分析하기위해서 燒結 中 爐內의 酸素(O<sub>2</sub>) 雰圍氣를 6%로 하여 燒結을 실시하였다.

Ruthner process 에서 얻어진 酸化鐵을 온도때 따른 2차 煨燒를 실시한 酸化鐵(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)과 스트론튬(SrCO<sub>3</sub>)을 乾式混合 및 煨燒후 燒結조제와 함께 微粉碎 및 成形을 실시한 후 시험로에서 燒結하여 Sr-ferrite magnet를 製造하여 磁氣 特性 測定器 (BH curve tracer)를 이용하여 최고 磁場 9 kOe까지 인가하면서 Φ35 mm의 search coil을 사용하여 磁氣 特性을 調査하였다.

### 3. 實驗 結果 및 考察

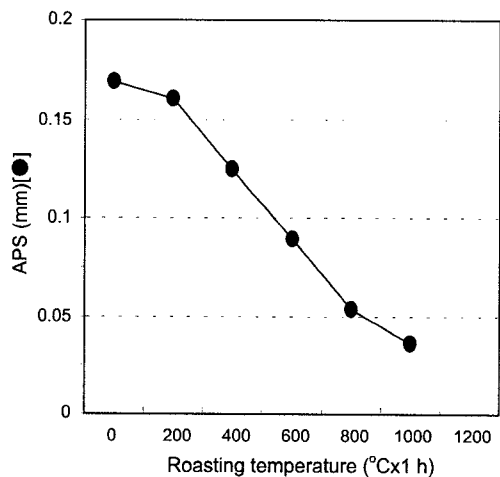
#### 3.1. 煨燒 溫度에 따른 酸化鐵 의 粉體 特性

##### 3.1.1. Ruthner process에 의한 酸化鐵 特性

Table 1은 製鐵所 冷延 工程의 鹽酸 廢液에서 ruthner 公法으로 製造된 酸化鐵의 성분 및 분체 특성을 나타내었다. Ruthner process에서 제조된 酸化鐵은 純度 99% 이상으로 高品質을 나타내고 있으나, Cl<sup>-</sup> 含量이 0.17%로 높게 나타났으며, SiO<sub>2</sub> 含量이 150 ppm을 나타내고 있다.

**Table 1.** Materials characteristics of iron oxide by Ruthner process.

Contents	Values
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , purity	99.2%
Cl <sup>-</sup>	0.17%
SiO <sub>2</sub>	150 ppm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	430 ppm
MnO	3290 ppm
CaO	20 ppm
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	240 ppm
NiO	110 ppm
Average particle size	0.5 μm



**Fig. 2.** Cl<sup>-</sup> values by roasting temperature for Ruthner process Iron oxide.

#### 3.1.2. 酸化鐵 煨燒溫度 變化에 따른 粉體特性

Fig. 2는 煨燒 溫度 變化에 따른 Cl<sup>-</sup> 含量 變化를, Fig. 3은 2차 煨燒 酸化鐵을 同一條件에서 vibrating disk mill후 平均粒度(average particle size) 및 apparent bulk density(ABD)의 變化를 나타내었다. 煨燒 溫度가 높아짐에 따라서 Cl<sup>-</sup> 함량은 減少하며, 平均입도와 ABD는 크게 나타나고 있다. 上記의 結果를 보면 400°C에서 부터 Cl<sup>-</sup>은 급격히 減少하는 傾向을 보이고 平均 粒度도 커지고 있다. 따라서 1차 ruthner process 에서 제조된 酸化鐵의 Cl<sup>-</sup> 含量을 줄이기 위해서는 800°C 부근 온도에서 2차 煨燒를 실시하면 煨燒 溫度에 따른 粉體 特性의 變化 없이 酸化鐵의 Cl<sup>-</sup> 含量을 50% 정도 줄일 수 있는 것으로 나타났다. Cl<sup>-</sup> 含量이 적고

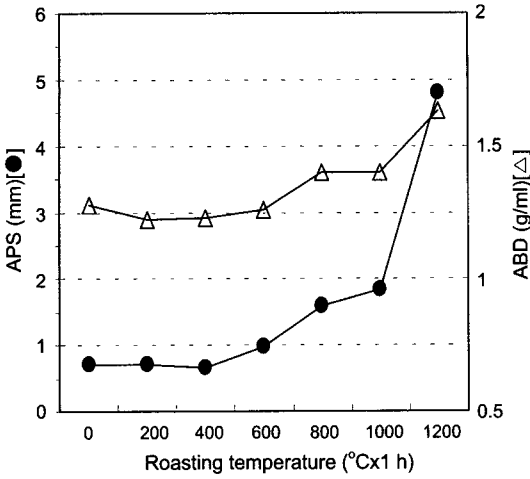


Fig. 3. Iron oxide characteristic by roasting temperature for Ruthner process Iron oxide.

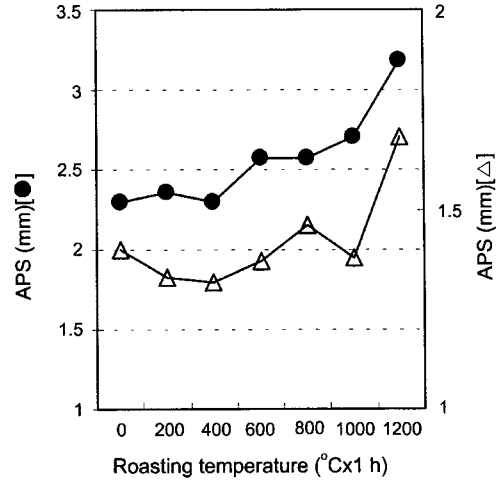


Fig. 4. Characteristic of calcined Sr-ferrite powder by roasting temperature for Ruthner process Iron oxide

분체특성이 安定的인 煨燒溫度는 800°C에서 1000°C 정도으로써, 平均粒度는 1.5~1.9 μm, apparent bulk density는 1.4 g/m<sup>3</sup>이며, 또한 Cl<sup>-</sup> 含有量은 0.05% 以下를 나타내고 있다.

또한 1차 ruthner process에 의해 제조된 酸化鐵은 平均粒度는 0.61 μm, bulk density는 0.43 g/m<sup>3</sup>를 나타내었으나, 이 酸化鐵을 vibrating disk mill에서 300g을 5분 동안 쇄쇄를 실시한 경우, 平均粒度는 0.72 μm, bulk density는 1.28 g/m<sup>3</sup>로 높아지고 있는데, 이는 산화철의 배소 온도 뿐만 아니라, 배소 후 쇄쇄등에 의해 粉體 狀態가 크게 달라지고, 이러한 酸化鐵의 粉體 狀態의 變化는 乾式 混合에 의하여 Sr-ferrite를 製造할 때 原材料의 混合 및 煨燒에서 結晶 成長에 影響을 미칠 것이다.

### 3.2. Sr-ferrite magnet의 特性 變化

#### 3.2.1. 酸化鐵 煨燒 溫度變化에 의한 Sr-ferrite 煨燒 粉末 特性

Fig. 4와 Fig. 5는 製鐵所 冷延 工程의 鹽酸 廢液에서 ruthner 公法으로 얻어진 酸化鐵을 사용하여 製造한 Sr-ferrite의 煨燒 粉末을 同一條件에서 粗粉碎하여 粉體 特性을 測定한 結果를 나타내었다.

酸化鐵의 2차 煨燒 溫度가 높을수록 粗粉粒度 및 bulk density가 높아지고, powder의 保磁力(HcJ)값은 커지다 어느 시점에서 떨어지고 있다. 이는 酸化鐵의 煨燒 溫度가 높아짐에 따라서 酸化鐵의 초기 粒子가 커지

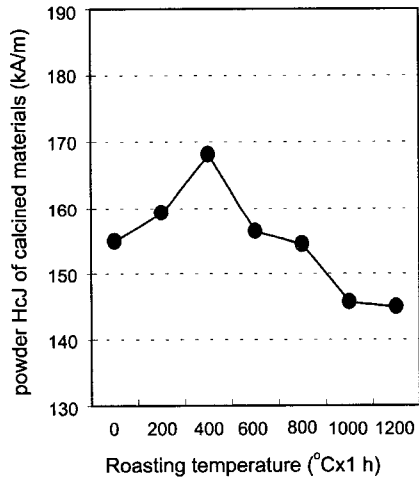


Fig. 5. Powder HcJ of calcined Sr-ferrite powder by roasting temperature for Ruthner process Iron oxide.

고, 乾式混合 後 하소한 Sr-ferrite의 結晶이 커져서 동일조건에서 조분쇄 후 平均 粒度가 커지고 bulk density가 높아지면서 煨燒 粉末의 保磁力(HcJ) 값은 떨어지는 傾向을 나타내고 있다.

그러나 酸化鐵의 2차 煨燒 溫度 400°C까지는 煨燒 粉末의 保磁力(HcJ)값이 커지는 것은 초기 Sr-ferrite 反應과 관계된 것으로 보여진다. 즉 ruthner process의 酸化鐵을 2차 煨燒시 煨燒溫度 400°C까지는 酸化鐵의 粒度가 一定하지만 酸化鐵에 殘留한 Cl<sup>-</sup> 및 不純物량이 적어지면서 乾式混合 후 煨燒 중 Sr과 Fe의 均一 粒子

成長을 한 것으로 사료된다.

3.2.2. 酸化鐵 焙燒 溫度 變化에 의한 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 特性 變化

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8은 각각의 온도에서 2차 焙燒한 酸化鐵을 사용하여 제조한 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 特性을 나타내었다.

酸化鐵의 焙燒 溫度 變化에 따른 Sr-ferrite magnet의 特性은 酸化鐵의 焙燒 溫度 600°C까지는 殘留磁束密度

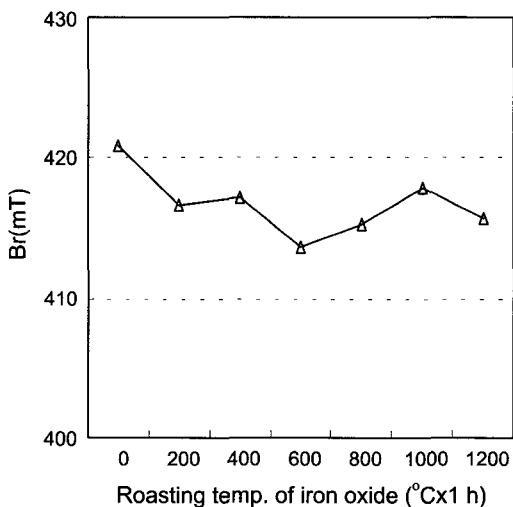


Fig. 6. Residual induction (Br) for Sr-ferrite magnet by using the 2<sup>nd</sup> roasted iron oxide of 800°C temp. (Sintering at 1240°C during 1 h)

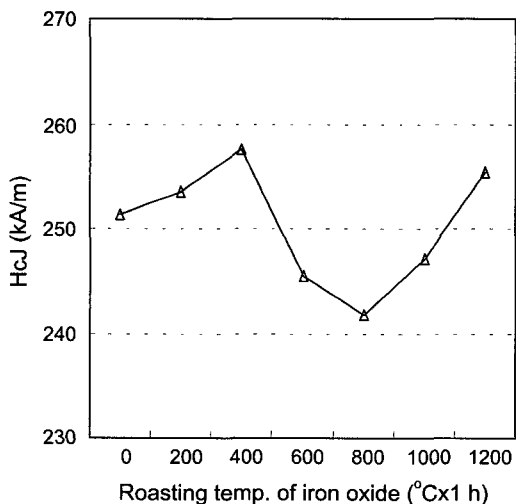


Fig. 7. Intrinsic coercivity (HcJ) for Sr-ferrite magnet by using the 2<sup>nd</sup> roasted iron oxide of 800°C temp. (Sintering at 1240°C during 1 h)

(Br)가 떨어지다가, 酸化鐵의 焙燒 溫度가 그 이상으로 높은 경우 磁氣的 特性은 약간 향상되는 경향을 보이고 있으나, 1200°C에서 2차 焙燒 처리한 경우의 殘留磁束密度(Br)는 다시 떨어지고 있는데, 이는 ruthner process에서 製造된 酸化鐵의 Cl-을 除去하기 위하여 2차 焙燒를 실시할 경우 焙燒 溫度는 800°C에서 1000°C 정도가 가장 安定的인 것으로 사료된다.

酸化鐵의 焙燒 溫度 變化에 따른 Sr-ferrite magnet의 保磁力(HcJ) 特性은 燒結 溫度에 민감한 반응을 보이고 있으며, 酸化鐵의 2차 焙燒 溫度 800°C까지는 保磁力(HcJ) 特性이 떨어지다가 다시 上昇하고 있다. Ruthner process의 酸化鐵을 2차 焙燒 처리할 경우, 2차 前處理 焙燒 溫度가 높을수록 燒結 磁石의 保磁力 特性도 燒結 溫度에 安定的인 特性을 나타내며 2상한 磁氣 特性曲線의 各형성(hk)값도 향상된 것으로 나타났다. 이는 酸化鐵을 高溫에서 2차 焙燒 처리함으로써 Cl- 含量 및 不純物이 적어짐에 따라 ferrite化 反應시 均一한 粒子 成長을 한 것으로 사료된다.

酸化鐵의 粉體 狀態에 따른 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 特性 變化를 조사하기 위하여 ruthner process의 酸化鐵을 해쇄 조건만을 變化 하였다.

Ruthner process에서 製造된 酸化鐵을 사용하여 제조한 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 特性은 殘留磁束密度 423 mT, 保磁力 229 kA/m로 나타났으나, 酸化鐵을

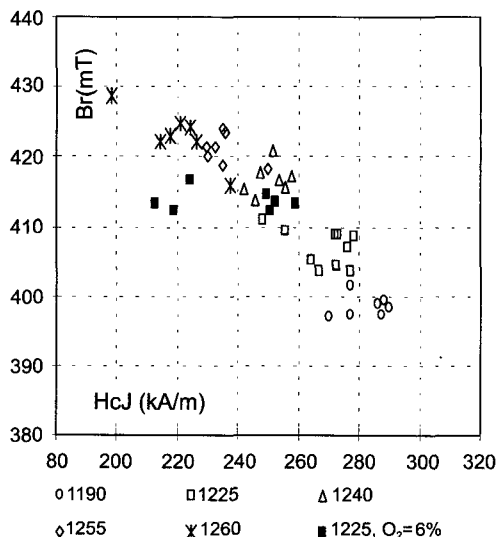


Fig. 8. Magnetic characteristic for Sr-ferrite magnet by using the 2<sup>nd</sup> roasted iron oxide. (at various sintering temperature)

vibrating disk mill에서 1차 해쇄후 乾式混合에 의하여 Sr-ferrite magnet를 제조한 경우 殘留磁束密度 421 mT, 保磁力 251 kA/m로 향상 하였다. 이는 保磁力이 構造 敏感特性으로 結晶 粒子的 크기와 분포에 따라 크게 변화한다고 알려져 있는 바와 같이, 酸化鐵 原料의 초기 粉體 狀態가 乾式 混合하여 제조한 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 特性 특히 保磁力에 큰 影響을 미치고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 8은 培燒 溫度變化에 따른 酸化鐵을 사용하여 混合 및 煨燒한 粉末을 微粉碎 및 成形후 溫度별 燒結을 실시한 Sr-ferrite magnet의 磁氣的 特性을 나타내었다.

초기 酸化鐵의 粉體特性은 Sr-ferrite magnet의 保磁力(Br) 特性에 影響을 미치고, 燒結 溫度는 殘留磁束密度와 保磁力 特性에 동시에 影響을 미치고 있음을 알 수가 있다. 이는 出發 原材料의 粉體 特性 뿐만 아니라 燒結 溫度가 乾式 混合에 의하여 제조한 Sr-ferrite magnet의 燒結 特性에 影響을 미치는 主要 因子임을 알 수가 있다.

燒結 溫度 變化에 따른 Sr-ferrite magnet의 殘留磁束密度(Br)와 保磁力(HcJ)의 회귀식은  $Br \approx -0.258HcJ + 494$ 의 函數關係를 나타내고 있다.

Fig. 9는 Sr-ferrite의 成形체를 燒結中 酸素 雰圍氣를 달리하여 燒結한 경우에 따른 燒結體를 走査電子顯微鏡(SEM)으로 結晶을 分析한 寫眞이다. 이에 의하면 酸素 雰圍氣(O<sub>2</sub>) 6%에서 燒結한 경우[Fig. 9(b)]가 空氣 中에서 燒結한 경우[Fig. 9(a)]보다 燒結後 結晶이 약간 더 커진 것들이 많이 관찰 되었다. 또한 Sr-ferrite magnet를 燒結시 酸素 濃度(O<sub>2</sub>)를 6%로 한 경우, 空氣 中에서 소결한 경우 보다 殘留磁束密度는 약간 향상하지만 保磁力은 크게 떨어짐을 알 수가 있다(Fig. 8).

3.2.3. 酸化鐵 培燒 溫度變化에 의한 Sr-ferrite magnet

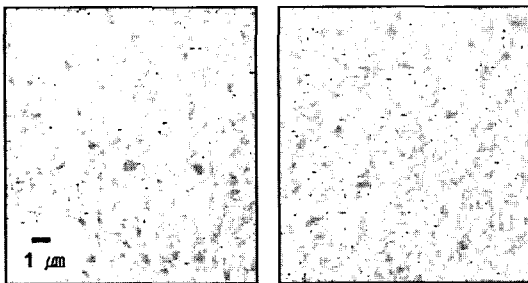


Fig. 9. Microstructure of Sr-ferrite magnet by using the 2<sup>nd</sup> roasted iron oxide of 800°C temp.  
 (a) Sintering at 1225°C, 1 h in air  
 (b) Sintering at 1225°C, 1 h in O<sub>2</sub>=6%

의 物理的 特性 變化.

Fig. 10은 酸化鐵이 2차 培燒 溫度 變化에 따른 Sr-ferrite magnet의 成形중 인가한 자장에 垂直한 方向에 따른 水縮率을 나타낸 것이다. 酸化鐵의 培燒 溫度가 높아짐에 따라서 Sr-ferrite magnet를 成形시 인가한 磁場에 垂直方向의 水縮率(SH-D)은 작아지다가, 600°C 및 800°C에서는 變化가 없으며 800°C 이상에서 다시 커지고 있다. 이는 Sr-ferrite magnet의 磁氣 特性이 酸化鐵의 2차 培燒 溫度 800°C에서 다시 향상 하고 있는것과

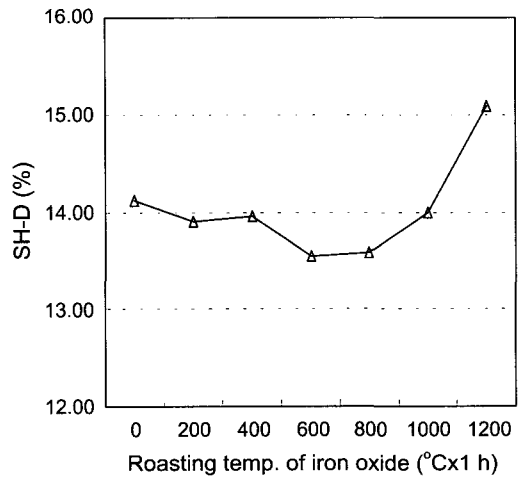


Fig. 10. Shrinkage of Sr-ferrite magnet in the perpendicular direction of applied field by roasting temperature for Ruthner process Iron oxide. (Sintering at 1240°C during 1 h)

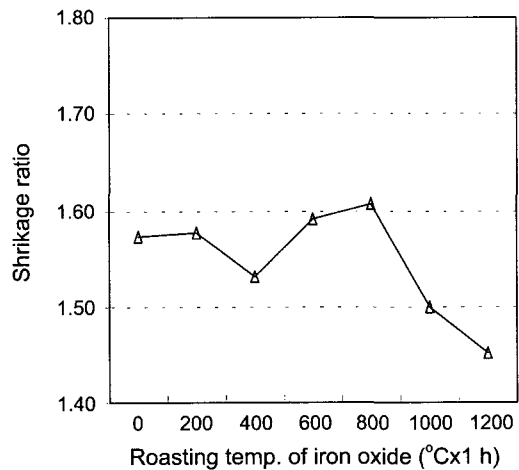


Fig. 11. Shrinkage ratio of Sr-ferrite magnet by roasting temperature for Ruthner process Iron oxide. (Sintering at 1240°C during 1 h)

같은 연관성을 가지고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 11은 酸化鐵의 2차 培燒 溫度 변화에 따른 Sr-ferrite magnet의 성형중 인가한 磁場 方向과 垂直한 方向에 따른 收縮率 比를 나타낸 것이다. 酸化鐵 培燒 溫度에 따른 Sr-ferrite magnet를 제조시 성형중 인가한 磁場 方向과 垂直 方向에 따른 收縮比(SH-H/SB-D)도 酸化鐵의 2차 培燒 溫度가 높아짐에 따라 약간 增加하다가 800°C 이후에 減少하고 있다. 이는 Sr-ferrite의 水縮比가 1.6인 경우 結晶의 粒子成長이 板狀形(the platelet-like growth of crystallites)으로 成長하고 있음을 나타낸다고 알려진 바와 같이, 酸化鐵의 2차 培燒 溫度 800°C까지는 Sr-ferrite magnet의 均一한 結晶 成長을 하고 있으나, 그 이상의 온도로 2차 培燒한 酸化鐵을 사용한 경우에는 燒結에서 結晶이 급속히 커진 것으로 판단된다.

#### 4. 結 論

1. Ruthner process의 酸化鐵을 2차 焙燒를 실시 한 경우, Cl<sup>-</sup> 含量이 적고 粉體 特性이 安定的인 焙燒溫度는 800°C 부근으로써, 平均 粒度는 1.5~1.9 μm, ABD는 1.4 g/ml 이며, Cl<sup>-</sup> 含有量은 0.05% 以下를 나타내고 있다.

2. Ruthner process로 제조된 酸化鐵을 vibrating disk mill에서 1차 쇄쇄후 乾式混合 및 煨燒에 의하여 Sr-ferrite magnet를 제조한 경우, 磁氣特性은 殘留磁束密度(Br) 423 mT, 保磁力(HcJ) 229 kA/m에서 殘留磁束密度(Br) 421 mT, 保磁力(HcJ) 251 kA/m로 향상 하였다.

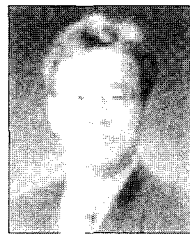
3. Sr-ferrite magnet의 燒結 溫度 變化에 따른 殘留

磁束密度와 保磁力의 회귀식은  $Br = -0.258 HcJ + 494$ 의 함수적 관계를 나타내고 있다.

4. Sr-ferrite magnet를 제조시 成形 중 加한 磁場 方向과 垂直 方向에 따른 收縮比는 酸化鐵을 2차 焙燒 溫度 800°C까지는 收縮比 1.6으로 安定的인 板狀形으로 結晶 成長을 나타내고 있으나, 그 以上の 溫度로 2차 培燒한 酸化鐵을 사용한 경우에는 燒結에서 結晶이 더 커진 것으로 판단 된다.

#### 參考文獻

1. Wohlfarth, E. P., 1982: Ferromagnetic Materials, 3, North-holland Publishing Company, p. 305.
2. Cullity, B. D., 1972: Introduction to magnetic materials, Addison-Wesley Publishing Company, p. 556.
3. Reed, J. S., and Fularh, R. M., 1973: Chararization and sintering behavior of Ba and Sr Ferrites, J.American Ceramic Society, 56(4), p. 207.
4. Yamamoto. H. 1996: Research on ferrite magnet materials, J. Jpn. Soc. Powder & PowderMetallurgy, 43(1), p. 5-12.



張 世 東

- 1992년 숭실대학교 물리학과 이학석사
- 2002년 충남대학교 재료공학과 공학박사
- 1999년 동국합섬(주) 마그네트 사업부 개발팀
- 현재 카본로렌코리아(주) 개발팀장