

技 術 展 望

超高性能磁石의 現況과 問題點

李 根 喆*

- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| 1. 序 言 | 3.2.1 組 成 |
| 2. 稀土類코발트磁石의 測定法과 問題點 | 3.2.2 粉末粒度 |
| 2.1 測定法 | 3.2.3 熱 處 理 |
| 2.2 電磁石과 自記磁束計에 의한 測定法 | 3.3 銅을 包含한 稀土類 코발트磁石 |
| 2.3 超電導磁石의 自記磁束計에 의한 히스테리시스 曲線의 測定 | 4. 稀土類 코발트磁石의 應用 |
| 2.4 振動試料形 磁力計에 의한 測定法 | 4.1 發 電 機 |
| 2.5 稀土類코발트磁石의 測定上 問題點 | 4.2 電 動 機 |
| 3. R-Co系磁石材料의 特性과 問題點 | 4.3 電 子 時 計 |
| 3.1 粉末磁石 | 4.4 通 信 機 器 |
| 3.2 RCo ₃ 系 燒結磁石 | 4.5 音響機器 및 其他 |

1. 序 言

永久磁石은 各種電氣計器와 家庭製品, 無線機器 및 人工衛星에 이르기까지 우리 日常生活에 不可缺한 材料이다. 最近 航空機 1臺에는 無慮 300個 以上の 永久磁石이 使用된다고 하니 그 應用度가 매우 넓다는 것을 짐작할 수 있다.

現在 國內에서는 自轉車用 發電器用으로 Ba-Ferrite 와 스피이커用 Alnico磁石이 生産되고 있으나 Alnico 磁石의 Ni, Co, Fe 등 모두 輸入에 의존하고 있으므로 原料問題가 深刻하다고 한다.

또한 一次的으로 鑄物品을 輸入하여 熱處理와 加工을 하여서 利用하고 있으며 磁場冷却과 方向性組織 등을 解決할 수 없어 異方性이 아닌 等方性 Alnico磁石판이 生産되고 있다.

本稿에서는 稀土類코발트磁石材料에 關한 物性面과 應用面, 磁氣의 特性, 測定法 및 用途開發 등의 現狀을 把握하고 未解決問題點 등에 關하여 日本磁石調査 專門委에서 行한 調査指針을 中心으로 紹介한 것이며 가까운 將來에 稀土類元素를 使用한 強力한 磁石이 出現할 것을 期待하는 바이다.

1966年 G. Hoffer와 K. Strnat氏들은 yCo_5, y_2Co_{17} 의 單結晶에 의한 結晶磁氣異方性을 測定한 바 yCo_5 의

異方性이 매우 크다는 것을 指摘하였으며 이것을 單一磁區狀態까지 微粉碎하고 磁化容易軸方向을 整理하여 프레스로 成形한 바 保磁力이 $H_a=2K/I_s$ (단, K : 結晶磁氣異方性定數, I_s : 飽和磁化의 세기)의 理論式으로 表示되는 바와 같이 結晶磁氣異方性이 크고 또한 I_s 도 어느 程度 큰 物質은 優秀한 永久磁石을 製作할 수 있다고 豫想하였다.

그리고 K. Strnat氏는 各種 稀土類元素(R)와 Co의 金屬間化合物 특히 RCo_5 에 대하여 I_s 와 K 의 값을 구하여 表 1과 같이 整理하였으며, 1967년에는 $SmCo_5$ 로서 $(BH)_{max}=40.8RJ/m^3$ (5.1MG. Oe)의 값을 實測하였다.

一般的으로 稀土類金屬은 活性이며 酸化가 容易하고 이들의 化合物도 특히 微粉末이므로 表面酸化에 의한 劣化가 매우 심하여 實用材料로서는 問題가 많다고 한다. 한편 Philips社의 研究者들은 微粉末表面에 保護코팅을 實施하고 超高壓을 加해 成形함으로써 $(BH)_{max}=148.0\sim 161.6KJ/m^3$ (1.85~20.2MG. Oe)의 特性을 얻었다.

그리고 이것으로부터 單一磁區오우더에 微粉碎된 $SmCo_5$ 의 集合體는 매우 優秀한 磁石이라는 것이 實證되었으나 $(BH)_{max}=144KJ/m^3$ (18MG. Oe) 以上을 達成하기 위하여는 集合密度 등 99~97%로 해야 된다는 點이 工業化에 있어서 障害가 되고 있다.

한편 이와같은 微粉末集合體의 密度를 上昇시키는 燒結法은 粉末冶金으로 알려진 技術로서 페라이트磁石

* 正會員: 高麗大 大學院 博士課程

表 1. RCO_5 化合物의 理論的 保磁力과 最大磁石에너지의 積

	YCo_5	$CeCo_5$	$PrCo_5$	$SmCo_5$	$Y-MMCo_5$	$Ce-MMCo_5$
飽和磁化 $4\pi I_s(G)$	10,600	8,700	11,200	9,500	9,500	8,900
結晶磁氣異方性定數 $K(10^7 \text{erg/cc})$	5.5	~7.3	~8.0	~9.5	~6.2	~6.4
異方性磁界(保磁力) $H_a(KOe)$	129	~210	~180	~250	~150	~180
最大磁石에너지積 (BH) _{max} (MG·Oe)	28.1	18.9	31.4	22.6	22.6	19.8

의 製法에도 使用되고 있다. 단, 燒結法을 이와 같은 微粉末磁石에 適用하는 경우 單磁區狀態를 燒結完了한 後에도 維持해야 된다는 制約이 豫測되어 各種 技術的 問題가 發生되고 있으며 이에 관한 많은 有益한 基礎的, 技術的인 研究結果가 報告되었는데 理論的으로는 다음과 같은 點을 들 수 있다.

첫째, 組成을 化學量論組成으로서 R濃도가 높은 領域을 選擇하고 原料粉粒도를 數 μm 정도로 調整할 것.

둘째, 燒結雰圍氣를 完全히 不活性雰圍氣로 하고 熱處理效果를 導入할 것.

셋째, 其他 R元素, 3d遷移元素 및 其他元素의 複合添加 등으로서 現在는 磁界成形方向과 成形壓 및 機械加工方法 등 많은 關連技術이 總合되어 (BH)_{max}=216 KJ/m^3 (27MG·Oe)가 生産될 段階이다.

稀土類코발트磁石의 特徵은 最大磁石에너지積과 保磁力이 매우 크며 또한 리코일透磁率이 거의 1에 가깝다는 것이다. 一般的으로 保磁力이 큰 磁石材料는 着磁磁界가 큰데, 페라이트磁石에서는 800KA/m(10 KOe) 이상을 JIS에서 勸獎하고 있으며 保磁力이 큰 값에서 본다면 稀土類코발트磁石의 着磁磁界가 매우 커질 것으로 豫想되나 큰 保磁力에 대해서는 實用的으로 1,200~1,600KA/m(15~20KOe)의 磁界에 거의 充分한 着磁가 可能한 特徵이 있다.

한편 材料面에서의 特性向上은 現在에도 繼續實施되

어 R_2Co_{17} 系의 새로운 材料로 向하고 있으며 實驗室的으로 (BH)_{max}=240 KJ/m^3 (30MG·Oe)에 到達했다는 報告가 있다.

2. 稀土類코발트磁石의 測定法과 問題點

2.1 測定法

一般的으로 永久磁石의 測定方法은 1975년에 改訂된 JIS C2501永久磁石試驗方法으로 標準化되어 있으며 測定器도 JIS C2501을 改訂하여 結論을 본 B, H코일의 標準仕樣에 依據하고 있다(表 2, 3 參照).

한편 磁束과 磁界測定에 使用되는 計測로서 옛부터 無定位磁束計以外에 電磁式磁束計, 디지털磁束計, 自記磁束計 및 NMR磁界測定器 등 精度가 좋은 것이 開發되고 있으며 그림 1, 2는 減磁曲線의 測定回路를 나타낸다. 오히려 그림 3과 같은 安定한 磁化器와 올바르게 較正된 NMR磁界測定器를 使用한다면 0.1~1.5T(1.0~15KG)範圍의 標準磁石은 10^{-5} 精度까지 較正이 可能하다고 한다.

그러나 一般的으로 稀土類코발트는 iHc 가 매우 크며 또한 電磁石形 磁化器는 對稱인 減磁曲線을 얻기가 困難함과 同時에 減磁曲線上에서 $B=0, H=0$ 의 原點을 確認할 수 없는 點이 많아 JIS C2501의 測定方法을 使用하지 않고 있다.

表 2. B코일의 標準仕樣

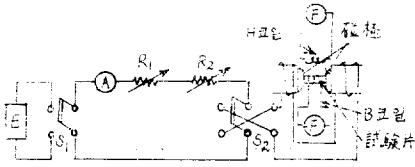
試 驗 片	捲 線			捲 數	
	種 類	線 徑	捲 線 方法	最大磁束密度測定用	減磁曲線測定用
2 種 磁 石	에나멜 또는 포르말로	0.1mm	單 層	6	12
3 種 磁 石	서 絶緣한 軟銅線	以 下	密接捲線	14	40

表 3. H코일의 標準仕樣

試 驗 片	捲 架		捲 線			捲 數
	材 質	寸 法	種 類	線 徑	捲 線 方	
2 種 磁 石	非 磁 性	10mm ϕ ×10mm	포르말 또는 에나멜	0.05mm	多 層	1,000
3 種 磁 石	材 料	10mm ϕ ×5mm	로서 絶緣한 軟銅線	以 下	密接捲線	400

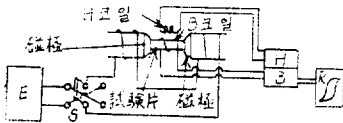
■ 要한 磁化力의 範圍式

즉 $\sum_{i=1}^n A_i - \sum_{j=1}^m A'_j = 0$ 을 滿足하도록 n (內側코일의 總捲數), m (外側코일의 總捲數), A_i (內側코일 i 회番 捲線의 斷面積) 및 A'_j (外側코일 j 회番 捲線의 斷面積)을 調整해야 된다. 네게, $4\pi I_i$ 가 既知의 試料 例을 들면 純니켈과 純鐵 등으로서 有效捲數 N_e 를 確認한다 등을 들 수 있으며 一般의 磁化力이 0~1,200KA/m(15KOe)인 範圍에서 $4\pi I$ 코일의 調整은 比較的 容易하나 1,200KA/m以上의 磁化力을 必要모 하는 경우에는 高磁界에서 均一度가 良好한 電磁石形 磁化器를 使用하지 않으면 안된다.



E: 磁化電源裝置, R₁, R₂: 抵抗器, S₁: 開閉器, S₂: 轉換開閉器, A: 電流計, B: 磁束計

그림 1. 磁束計法에 의한 減磁曲線測定回路



E: 磁化電源裝置 S: 轉換開閉器
H: H測定部 B: B測定部 R: 記錄計 } 自記磁束系

그림 2. 自記磁束計法에 의한 減磁曲線測定回路

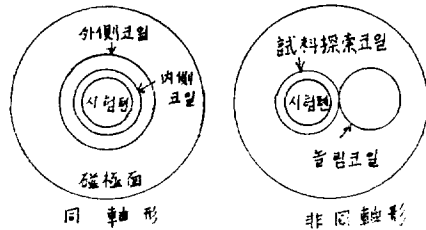


그림 4. 4πI코일의 斷面圖 一例

2.2 電磁石과 自記磁束計에 의한 測定法

(1) 着磁: 처음에는 電磁石形 磁化器以外의 着磁裝置 例을 들면 超電導電磁石과 필스着磁裝置 또는 電磁石形磁化器와 필스着磁裝置의 組合 등으로서 미리 試験片을 着磁하는 것이 바람직하다.

(2) 原點의 決定: 4πI코일을 所定의 位置에 두고 H檢出部를 磁界外로, 그리고 4πI測定部와 H測定部의 드리프트를 充分히 調整해서 原點을 定하고 記錄한다.

(3) 試験片의 附着: 試験片을 4πI코일內에 놓고 磁極端面과 試験片端面사이에 間隙이 생기지 않도록 確實히 附着하며 또한 H檢出部를 試験片의 近方에 둔다.

(4) 磁化: 電磁石形 磁化器로서 試験片을 着磁方向과 同一方向으로, 磁化電流가 最大가 될때까지 充分히 磁化시키고 磁化電流는 零으로 한다.

(5) 記錄: XY記錄計의 펜으로서 記錄을 開始하며 磁化電流의 方向을 反轉시켜서 着磁方向과 反對方向으로 磁化電流를 最大值까지 增加시킨다. 그리고 第2象限의 軌跡을 記錄紙上에 될 수 있는 限 크게 그린다.

(6) 原點의 確認: 4πI코일을 所定의 磁極間에 두고 記錄紙上에서 (2)에서 定한 바와 같이 原點을 再次 確認한다.

(7) 減磁曲線의 決定: 5와 같이 4πI-H曲線에서 B

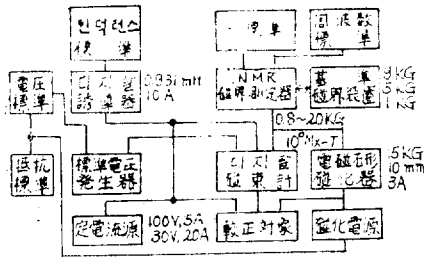
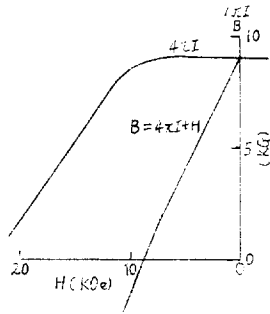


그림 3. 日電檢에 있어서 磁氣標準의 較正體系

이에 대한 對策으로서 電磁石形 磁化器에 直接 高電界를 加한 後 自己磁束計로서 4πI-H曲線을 測定하고 B-H의 減磁曲線을 求하는 方法을 取하고 있다.

4πI-H曲線의 測定에는 B코일 代身에 4πI코일이 必要하나 測定中에는 전혀 드리프트가 없는 B, H測定裝置와 熱起電力 및 接觸電位가 零인 方法으로 測定한다면 4πI코일은 不必要하나 現在로서 適合치 않으며 4πI코일의 具體的인 調整順序를 보면 첫째, 電磁石形 磁化器의 磁極間隔을 試験片길이와 同一하게 維持한다. 둘째, 4πI코일의 位置가 試験片測定時와 같도록 한다. 셋째, 自己磁束計의 感度를 試験片測定時보다 높고 必

-H의 減磁曲線을 求한다. 그림 5는 上記順序에 의한 稀土類코발트磁石의 測定例를 나타낸다.



試驗片寸수: 5φ×15l 필스着磁界: 90K0e
 磁化器: 사이크로트론型電磁石
 磁極直徑 60mm, 最大磁化力 21K0e/15mm
 測定裝置: 自記磁束計
 測定데이터: B, 9.0KG, $B_H C$ 8.7K0e, $(HB)_{max}$ 20.1MG0e

그림 5. 稀土類코발트磁石의 測定例

2.3 超電導磁石과 自記磁束計에 의한 히스테리시스 曲線의 測定

稀土類코발트磁石의 磁化方法으로서 超電導磁石에 의한 것이 理想的이나 本方法은 開磁路測定때문에 反磁界의 補正이 必要하다. 또한 超電導磁石은 一般의 磁化力을 迅速히 變化하는 것이 困難하므로 自記磁束計로서 測定할 경우 電壓感도가 높고 드리프트가 적은 積分器가 必要하다.

그림 6은 數值積分方式의 自記磁束計를 使用한測定裝置의 블록圖로서 本裝置의 超電導磁石은 φ30×50의 常溫空間에 5,200KA/m(65K0e)의 磁界를 發生시킬 수 있는 것이다. 한편 試料의 磁化세기 4πI는 探索코일(同軸形 4πI코일)의 誘起電壓을 積分形 디지털電壓

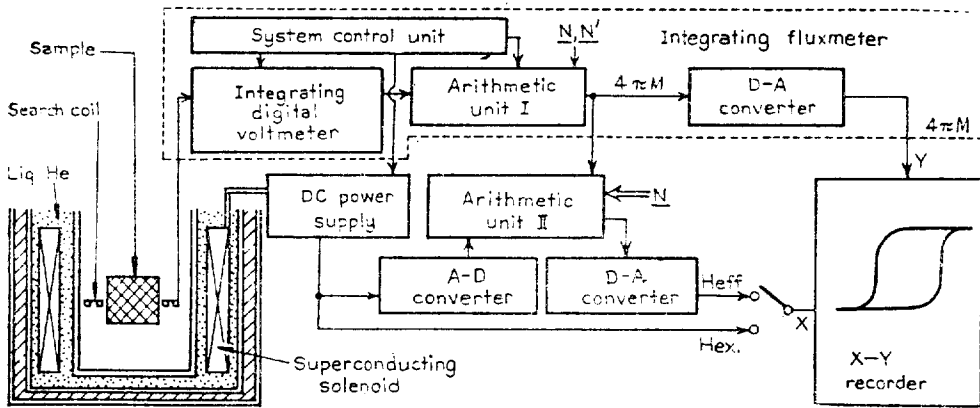
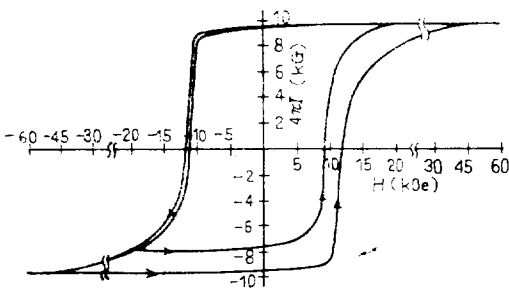


그림 6. 自記磁石計의 블록다이아그램

計로 0.5秒마다 測定하고 出力數值를 加減算回路 I (Arithmetic Unit I)로서 數值積分하여 求한다.

그리고 反磁界의 補正은 加減算回路 I 로서 行하며 入力電壓(探索코일誘起電壓)의 分解能은 0.01μV, 出力值의 드리프트는 探索코일의 有效捲線數 50인 경우 30分間에 $2.5 \times 10^{-7} \omega b$ (25 Maxwell) 以下이다. 磁化力 H 는 超電導磁石의 勵磁電流로부터 求하나 加減算回路 II (Arithmetic Unit II)로서 反磁石의 補正을 行한다. 그림 7은 稀土類코발트磁石에 대한 히스테리시스曲線의 測定例를 나타낸다.



試料寸수: 12mmφ×10mm
 反磁界係數N: 0.268

그림 7. (Sm, Pr)-Co₅磁石의 主 및 副히스테리시스 曲線

2.4 振動試料形 磁力計에 의한 測定法

電磁石形 磁化器와 自記磁束計에 의한 一般의 測定方法은 直流積分器에 의한 4πI와 H의 測定時 어느 것

이나 드리프트를 完全히 零으로 하기가 困難하므로 이에 더하여 原理적으로 드리프트가 零이라고 生覺되는 測定器로서 振動試料形 磁力計(VSM)가 있다. 이것은 특히 高感度を 必要로 하는 磁氣테이프와 磁氣디스크 및 M_n-B_1 등의 磁性薄膜 등의 測定에 많이 使用되고 있으며 特徵은 다음과 같다.

첫째, 高感度(自記磁束計의 約 200倍)이므로 微小試料의 測定이 可能하다.

둘째, 溫度變化와 角度依存性を 測定할 수 있으나 缺點으로는 磁化器의 磁極端面에 試驗片을 挿入해서 測定할 수 없으므로 反磁界補正이 必要하게 된다.

또한 反磁界係數가 正으로 算出된다면 超電導磁石과 VSM의 組合에 의한 稀土類코발트磁石의 測定法은 精度, 再現性 및 使用面에서 優秀한 測定法으로 注目되고 있다.

2.5 稀土類코발트磁石의 測定上問題點

稀土類코발트磁石의 減磁曲線測定時 가장 큰 問題는 着磁界가 크다는 것을 들 수 있으며 한편 着磁方法에 는 다음과 같이 3가지 種類가 있다. 즉

(1) 電磁石形 着磁器[最大發生磁界 約 2,500KA/m(約 32KOe)]에 의한 方法

(2) 필츠着磁器[發生磁界 約 7,000KA/m(約 90 KOe)] 또는 超電導磁石과 電磁石形 磁化器를 併用하는 方法

(3) 超電導電磁石에 의한 方法이다.

이中에서 超電導電磁石에 의한 着磁方法이 理想的이나 設備나 管理維持 및 寒劑 등의 費用이 많이 들므로 溫室에서의 測定例가 매우 적다.

一例로서 直徑 7.3mm 길이 31.1mm, $B_r=0.85T$ (8.5KG), $iH_c=1,760KA/m$ (22KOe), $BH_c=600KA/m$ (7.5KOe) 및 $(BH)_{max}=135KJ/m^2$ (17MGOe) 정도의 稀土類코발트磁石을 超電導電磁石으로서 飽和시키기 위해서는 적어도 4,000KA/m(50KOe) 정도의 着磁界가 必要할 것이다.

3. R-Co系磁石材料의 特性和 問題點

R-Co系磁石은 從來의 Alnico系 또는 페라이트系磁石材料에 比較하여 高性能이며 이것은 粉末磁石과 燒結磁石으로서 實用的으로는 R이 Ce, Pr, Sm이나 RCO_5 系와 $R_2(Co, Cu, Fe)_{17}$ 系에 가까운 組成으로 되어 있다.

한편 磁石材料의 解析은 아직도 많은 問題가 남아 있다. 例를 들면 熱處理와 磁石特性의 關係에서 高保

磁力의 發生機構가 明確하지 않으며 또한 酸化에 의한 磁石特性의 關係가 實驗적으로는 對應되나 機構 역시 明白하지 않아 重要한 課題가 되고 있다. 이것들은 實用面에서 早急한 解決이 要望되며 특히 R-Co系磁石材料의 開發에 대해서 時急하다고 生覺된다. 다음에 이들 各 磁石材料의 特徵과 問題點을 考察해 본다.

3.1 粉末磁石

現在 本 種類의 磁石은 主로 RCO_5 系의 플라스틱磁石으로서 이것은 RCO_5 系 金屬間化合物을 微粉末加工하고 磁界中에서 配向시킨 後 樹脂로서 固形한 것이다. 特徵은 切斷과 切削 및 打拔 등이 容易하며 또한 反復된 衝擊에 대해서도 安定하고 球나 曲面의 磁極을 쉽게 만들 수 있다는 것이다. 또한 機械的 加工이 容易하므로 燒結磁石에 比較하면 매우 低廉하다.

應用面에서 볼 때 큰 磁極面을 좁은 스페이스內에서 必要로 하는 箇所나 曲面 등에 매우 有利한데 이러한 種類의 磁石은 RCO_5 系 化合物이 높은 結晶의 磁氣異方性을 갖는다는 報告가 있어 最初로 試作된 것이다. 根據는 微粉子에 대한 單磁區理論에서 計算된 $H_A=2K/I_s=H_c, max$ 에 의한 것으로서 여기서 H_A 異方性磁界, K 는 結晶磁氣異方性定數, I_s 는 飽和磁化 그리고 H_s, max 는 保磁力의 最大値를 나타낸다.

그러나 現在 얻고 있는 保磁力은 異方性磁界에 比하여 約 1桁정도 낮은 값을 나타내는데 이것은 아직 分明하지 않으나 經驗적으로는 粉末이 전부 單磁區였을 경우에는 없으며 또한 配向磁界가 異方性磁界에 比하여 매우 낮고, 試料의 磁化가 飽和되지 않는다는 것이다. 이와 같은 事實은 R-Co系 粉末磁石의 保磁力機構에서 問題가 되고 있다.

그러나 高結晶磁氣異方性을 갖는 R-Co系 化合物에 의한 高性能磁石을 얻기 위하여는 粉末을 磁界中에 配向하고 高密度化할 必要가 있으나 超高壓裝置를 使用한다는 것은 實用的으로 限度가 있으며 더욱이 占積率도 限定되어 있으므로 必然적으로는 燒結磁石의 製作이 要望되고 있다.

3.2 RCO_5 系 燒結磁石

代表的인 것으로 $SmCo_5$ 系가 있으며 이것은 製造時 組成, 粉末粒度, 熱處理方法, 酸素의 含有量 및 測定磁界(着磁) 등에 의해서 크게 變化된다. 한편 殘留磁束密度는 飽和磁化의 값에 따라서 限定되나 크게 變動되는 것은 아니며 保磁力(iH_c)이 變動하는 것은 이런 磁石材料의 特徵이다. 다음에서는 保磁力에 關連된 實驗例에 따라 材料의 問題點을 指摘해 본다.

3.2.1 組 成

Sm₂Co₅系 磁石은 製作時 SmCo₅(66.2wt% Co)보다 Sm-rich인 63~64wt%Co-Sm의 組成을 갖은 材料를 얻고 있다. 한편 SmCo₅粉末磁石을 熱處理하면 保磁力은 溫度上昇에 따라서 直線의 으로 低下된다는 것이 確認되였으며 이와 같이 僅少한 2~3wt%Co의 組成差異가 保磁力에 큰 原因을 미친다는 것은 아직도 分明하지 않다고 한다.

또한 SmCo₅磁石은 SmCo₅化合物에 보다 融點이 낮은 Sm-Co系 合金을 粉末狀으로 混合하고 粉末磁石을 만든 後 이것을 燒結하여 얻고 있는데 이러한 方法을 液相燒結法이라고 부른다. 그러나 添加되는 合金의 組成이 問題가 되고 있다.

3.2.2 粉末粒度

燒結磁石은 初期에 粉末의 粒度에 따라서 特性이 크게 다르나 특히 液相燒結法으로 製作된 製品은 影響이 매우 크다.

그림 8은 SmCo₅磁石에 있어서 粉末粒度(SmCo₅化合物)의 變化에 따르는 *iH_c*의 組成依存性을 나타낸다. (a), (b)는 各各 40~50μm, 15~25μm의 粒度에 의한 結果로서 保磁力의 極大은 어느 것이나 約 64.5wt%Co로 서 얻어지고 있다.

이와 같은 保磁力에 대하여 粒度의 依存性 原因을 考察하면 SmCo₅粒末試料를 製作하는 過程에서 結晶은

機械粉碎에 의하여 缺陷이 發生되며 이것이 粉末의 表面에 集中됨과 同時에 全缺陷은 粒度分布에 거의 決定된다고 한다. 여기서 SmCo₅의 粉末粒子를 球狀으로 假定하고 半徑을 *r*, 密度를 *ρ*, 表面積을 *s*, 體積을 *v*, 質量을 *w*라고 하면 $s=4\pi r^2$, $v=4/3\cdot\pi r^3$, $w=\rho v$ 로서 表示되며 SmCo₅粒子 1個當의 添加物量을 *w*, 그리고 添加物의 全體에 대한 比率를 *p*(%)라고 하면 $p=w/\rho v + \omega_0 \cdot 100$ 으로 表示된다. 한편 SmCo₅粒子表面의 單位面積當 添加物의 量 *A*는 다음과 같은 式 즉 $A=w/s = \rho r s/3 (100-p)$ 으로 되며 單位面積當 缺陷이 *r*의 相違에 의해서 變化하지 않는다면 *A*는 一定값이 된다.

여기서 極大의 保磁力을 얻기 위하여는 $r=r_1$ 인 경우에 有效한 $p=p_1$ 그리고 $r=r_2$ 인 경우에 有效한 $p=p_2$ 가 存在한다고 假定하면 $r_1/r_2=(100-p_1)/p_1 \times p_2/(100-p_2)$ 가 된다. 그림 8의 (a) (b)에서 *iH_c*의 極大은 64.5wt%을 얻었고 實驗結果에서 $p_1=5\%$, $p_2=10\%$ 가 되므로 $r_1/r_2=2$ 가 된다. 여기서 記述한 例는 添加物로서 65wt%Sm-Co을 使用한 경우로서 (a), (b)의 粒度와 添加量의 比가 거의 計算値와 一致하였음을 보이고 있다.

이와 같은 粒度와 添加量의 關係를 考察한다면 添加物이 없는 경우에는 格子缺陷이 全體結晶에 影響을 미쳐서 多相構造가 되며 保磁力이 低下된다. 그러므로 添加物의 適正量은 保磁力의 向上에 매우 重要한 要因이 됨을 알 수 있다.

3.2.3 熱 處 理

磁石特性은 熱處理方法에 의해서 크게 左右된다. 例을 들면 SmCo₅系粒末磁石을 約 1,100°C로서 熱處理하면 保磁力이 크게 向上된다고 하나 高保磁力의 發生原因은 아직 明確하지 않다.

保磁力의 變化에 대하여 63, 64wt%Co-Sm合金의 例을 보면 約 1,080°C와 1,190°C의 熱處理溫度에서 最大의 保磁力을 얻었으며 이들 粉末磁石을 1,190°C에서 30分間 熱處理한 後 再次 1,080°C에서 熱處理한 경우 *iH_c*는 거의 變化가 없었다. 또한 보다 낮은 1,150°C에서 熱處理한 後 爐冷한 結果 *iH_c*는 顯著하게 低下되었으며 試料를 再次 1,190°C에서 熱處理하여 溫空까지 急冷한 바 *iH_c*는 本來의 값으로 되 돌아 왔다.

그리고 Sm-Co系狀態圖를 보면 1,075°C와 1,200°C에서 各各 SmCo₅와 Sm₂Co₇의 包晶溫度를 나타내었는데 이 溫度는 高保磁力을 얻기 위한 熱處理溫度와 거의 一致하였으며 이와같은 包晶溫度와 保磁力의 極大과의 對應은 PrCo₅系磁石도 같다는 것이 確認되었

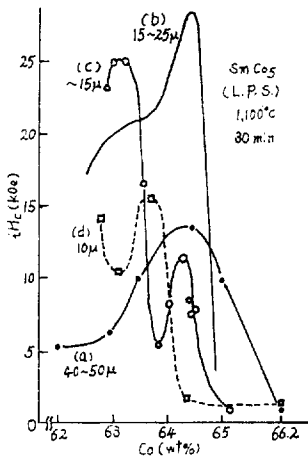


그림 8. 粉末粒度의 相違에 따르는 液相燒結磁石의 保磁力에 대한 組成依存性

다.

또한 保磁力과 熱處理에 대한 顯著한 現象으로서 包晶溫度近方에서 熱處理한 後 徐冷하고 어느 特定溫度(850~900°C)까지 長時間維持한 後에 空溫으로 急冷하였다니 보다 높은 保磁力을 얻을 수가 있었는데 이와 같은 處理를 Post-Sintering이라고 부른다.

以上과 같은 熱處理에 의해서 保磁力이 큰 變化는 材料의 結晶組織과 密接한 關係가 있음을 確認하였다.

3.3 銅을 包含한 稀土類코발트磁石

銅은 含有한 稀土類-코발트磁石은 最初로 Sm(Co, Fe, Cu)₅, Ce(Co, Fe, Cu)₅ 등의 組成에 대하여 研究開發한 結果 商品化되었다. 銅을 包含한 磁石材料는 保磁力이 Sm-poor의 組成으로 容易하게 얻을 수 있었으며 普通 R(Co, Cu, Fe)_{5.2-5.5}의 範圍였다. 이러한 系를 析出硬化形이라고 하는데 結晶粒子內部에 R₂Co₁₇相이라고 生覺되는 微細粒子가 析出된 構造인 바 이것이 保磁力의 發生原因이라고 考慮하고 있다.

그러나 保磁力이 가장 큰 時効條件으로 얻은 試料에 있어서 析出物의 觀測은 아직 成功하지 못하고 있다. 즉 析出物觀測과의 同定은 高溫時効로서 析出粒子를 粗大하여 試料를 使用하는데 不適合한 것이다.

다음에 R₂(Co, Fe, Cu)₁₇과 같이 銅을 包含한 2-17系磁石도 登場하고 있는데 R로서는 Sm이 主이나 一部를 Ce 또는 Y로 代置해서 使用한 例도 있다. 本系는 2-17組成보다도 R-rich側에서 保磁力이 매우 높다.

一般的으로 銅置換形 2-17系 磁石은 moderate한 保磁力 6~7KOE를 갖고 있으나 反磁場이 크거나 高溫에서는 用途上 問題가 많다고 한다. 이와 같은 경우에는 M_n添加로서 保磁力을 640~800KA/m(8~10 KOe)까지 높일 수 있으나 메카니즘은 不明確하다고 한다.

4. 稀土類코발트磁石의 應用

4.1 發電機

特殊한 應用例로서 軍用인 携帶電源에 超高速發電機가 試作되어 있으며 4極磁路構成의 磁石界磁回轉形, 65rpm의 超高速인 10KVA의 高出力을 얻고 있다.

稀土類코발트磁石의 利用은 小形, 輕量의 高出力發電機를 製作하게 되었다. 한편 體積 5~15cm³, 出力類 W까지인 超小形의 發電機가 開發되고 있으며 이것은 各種센서 즉 回轉檢知와 半導體素子の 드리프트 및 電氣的 信號源으로 應用될 것이다.

그러나 發電機分野에 有望한 分野로는 코아레스모우터에 對應하는 코아레스發電機로 生覺되며 이미 페라이트磁石을 使用한 發電機가 10年前부터 開發되고 있다.

本發電機는 磁路構成上, 磁石發電機의 短點인 吸引토크를 전혀 發生하지 않으므로 超低速의 回轉計用發電機와 風力 또는 波力을 動力으로 하는 發電機용으로 適合할 것이다.

4.2 電動機

이것은 發電機分野에 比하여 研究開發이 活發하며 實用化例도 많다. 高保磁力의 特性을 살림과 同時에 動作時에 發生되는 強力한 減磁力에 견딜 수 있다. 또한 高磁氣에너지積을 利用해서 小形, 輕量인 高出力電動機를 만들 수 있으며 直流電動機分野에서 코아레스모우터는 가장 適合한 應用例라고 할 수 있다.

이러한 種類의 電動機는 無鐵心電機가 空隔內에 놓이게 되므로 넓은 空隙이 되는 것을 避할 수 없으나 稀土類코발트磁石의 高保磁力性은 넓은 空隙內에 高磁束密度分布를 發生시킬 수 있어서 入力數W 以下の 마이크로모우터分野에 應用할 수 있다. 그림 9는 알니코磁石과 코발트磁石에 의한 實測例이다.

한편 코아레스모우터의 特性을 보면 低慣性이며 電機子 인덕턴스가 적고 整流特性이 改善됨과 同時에 信賴性과 耐久性이 매우 높다고 한다.

4.3 電子時計

電子腕時計의 小形電磁變換機는 댐프發振器로부터 始作되었으며 最初의 永久磁石材料는 바륨페라이트磁石이었으나 後에 高磁性인 稀土類코발트磁石, (BH)_{max}

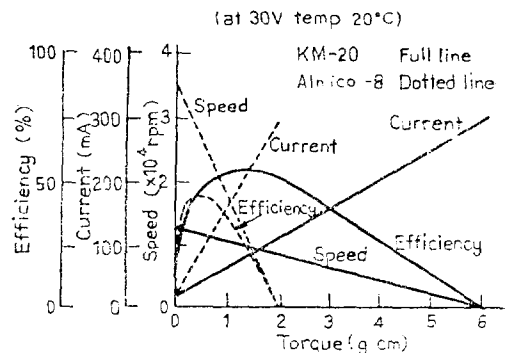


그림 9. 코아레스모우터의 特性(마이크로모우터)

≅10MG.Oe의 SmCo_5 및 $(\text{Ce-MM})\text{Co}_5$ 磁石이 使用되었다. 現在 電子腕時計는 水晶發振式으로 되어 稀土類코발트磁石은 永久磁石回轉子形의 스텝모우터에 利用되고 있다.

永久磁石材料에는 燒結形인 SmCo_5 , $(BH)_{\max}=16\sim 20\text{MG.Oe}$ 또는 플라스틱본드磁石이 使用되고 있으며 徑方向磁石의 2極形이 많은데 形狀은 約 $2\phi\times 5t$ 이다. 스텝모우터의 特性에 永久磁石이 關與하게 되고 파라메타의 하나로서 電氣機械結合係數—慣性모우먼트 ρ ($BH)_{\max}/\rho$ 을 들 수 있는데 이點이 코발트磁石의 貢獻이라고 생각할 수 있다.

4.4 通信機器

이것은 주로 마이크로波管이나 마이크로波페라이트 回路의 界磁用 磁石으로 생각할 수 있다. 특히 進行波管에 코발트磁石의 應用은 高保磁力의 長點을 充分히 活用한 것으로서 開發當初부터 檢討가 進行되고 있다.

進行波管은 回路에 따라서 進行하는 電波와 이것과 同方向으로 거의 同速度로 進行하는 電子流와를 相互作用시켜서 電波를 增幅하는 마이크로波電子管으로서 電波와 電子流는 거의 等速度이므로 普通 螺旋狀遲延 回路를 導體로 使用하고 있다.

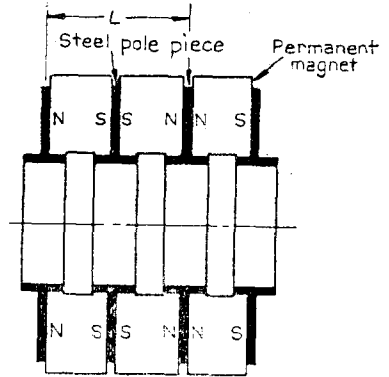
이 螺旋幅에 따라 安定한 電子流를 通過시키기 위하여는 集束磁界가 必要한데 永久磁石을 使用한 集束磁界의 形式에는 均一磁界形, 周期磁界形 및 單反磁界形의 3種類가 있으며 이 중에서 周期磁界形이 가장 많이 使用되고 있다. 한편, 磁路構成에는 軸方向으로 磁化된 環狀磁石과 磁極片으로 된 것 그리고 徑方向으로 磁化된 環狀磁石의 2種類가 있는데 그림 10의 (a)는 前者를, (b)는 後者의 磁路構成을 나타내고 있다.

4.5 音響機器 및 其他

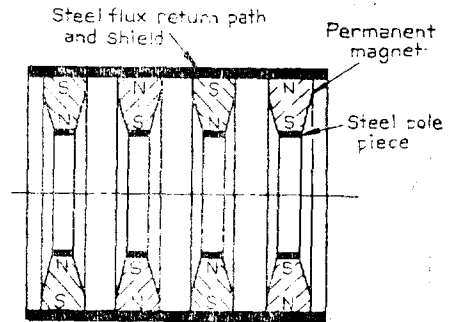
稀土類코발트磁石의 有望한 應用分野로서 스피커, 헤드폰, 마이크로폰 및 픽업카트리지를 들 수 있다. 특히 헤드폰은 量産化로 突入하고 있으며 코발트磁石으로서 從來의 可動코일代身 平面코일의 動電形 스피커를 實現하고 있다.

픽업카트리지가 MM인 경우에는 振動部가 永久磁石 振動子이므로 코발트磁石의 利用이 適合하며 이로 因하여 慣性모우먼트와 實効質量이 輕減된다. 또한 環狀磁石으로서 從來 알니코磁石의 棒狀振動子를 約 1/4로 縮일 수 있으며 性能도 크게 改善할 수 있다고 한다.

音響機器以外에 電子레인지의 마그네트론應用分野도 있으며 보다 高性能인 稀土類코발트를 使用함으로써 重量을 半減시키고 아울러 레인지의 오븐容積을 擴大



(a)



(b)

그림 10. 周期磁界形 磁路構成

하고 있다.

끝으로 醫療用器具를 보면 現代 成人病死亡率의 高位를 차지하는 腦血管障害가 있는데 이에 대한 治療로서 稀土類코발트 磁石의 強力한 吸引力을 利用해서 實現하겠다는 提案도 있으며 이미 動物實驗이 進行되었다고 한다. 하여간 生體에 미치는 磁氣의 影響은 아직 未知數이나 期待하는 마음 懇切하다.

參 考 文 獻

- 1) 稀土類코발트磁石의 現況과 問題點: 日本電氣學會 技術報告(1部) 1978年
- 2) 稀土類코발트磁石과 應用: 山川 和郎. 精密機械(日本) Vol. 43 No. 5 (621~625) 1978
- 3) 稀土類코발트磁石의 技術進步와 將來: 山川 和郎·新金屬工業(日本) Vol. 22, No. 6(131~136) 1977
- 4) 稀土類코발트磁石: 廣田榮一, National Technical Report (Japan) Vol. 22, No. 6 (774~792) 1976
- 5) 새로운 磁性材料: Overshott K.J. Electrical Review(英國) Vol. 199, No. 7(22~23) 1976