

# 最近의 磁性材料 研究動向

愼 鏞 璉\*

■ 차 례 ■

- |               |             |
|---------------|-------------|
| 1. 序 言        | 4.2 低損失化    |
| 2. 磁性材料의 研究動向 | 4.3 使用上의 問題 |
| 3. 高珪素鋼板      | 4.4 量産技術    |
| 4. 非晶質鐵心材料    | 5. 結 言      |
| 4.1 高磁束密度化    | 參 考 文 獻     |

## 1 序 言

進

6세기전 磁石이 南北을 가리키는 磁針으로써 등장한 이래, 1600년에 Gilbert가 磁氣의 本質에 관하여 처음으로 著書를 내어, 學問으로써의 기틀을 마련하였다. 이후 1831년 Faraday가 電磁誘導現象을 발표한 뒤, 發電機(1932), 電動機, 變壓器 및 電氣工學의 발전에 磁氣가 큰 공헌을 해 왔다.

그동안 磁氣의 응용은 磁心材料와 永久磁石에 한정되어 왔으나, 이것은 磁氣의 本性이 잘 알려져 있지 않았기 때문이었다. 1950년대에 이르러 通信工學 및 電子工學의 발전과 더불어 磁氣分野에도 새로운 파동이 일기 시작하여 ferrite 재료나 磁氣테이프 등 高周波用磁性材料가 출현함과 동시에 磁氣增幅器를 시작으로 하는 非線形磁氣應用에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 磁氣工學(magnetics)이라고 하는 새로운 분야가 대두 되기에 이르렀다.

筆者는 지난 1년동안 日本의 九州大學에서 磁性材料에 관한 연구를 하면서 日本을 비롯한 歐美에 있어서의 최근의 磁性材料에 관한 연구동향을 살필 수 있는 기회가 있었기에 그에 대한것을 電氣工學分野에 있는 筆者의 입장에서 개략적으로 보고하여 讀者로 하여금 소의 되고 있는 磁氣分野에의 관심을 촉구하고자 한다.

## 2 磁性材料의 研究動向

역사적으로 보면 強磁性材料는 電氣工學에서는 처음부터 불가결한 것이었으나, 그 기능은 磁束의 通路 또는 發生源으로써 이용한데 불과하였다. 磁氣增幅器가 주목을 받게된 1950년대에 強磁性材料의 非線形性이 관심을 끌게 되면서 角形히스테리시스 磁心이 各種電源用機器로서, 또 記憶用素子로서 유용하다는 것이 밝혀지기에 이르렀다. 예로서 筆者는 滯日中 다음의 각종 學術發表會에 참가 또는 주제발표를 할 기회를 가졌었는데, 즉

- 1) 電氣學會 Magnetics 研究會 (82. 8. 26~27) ; 發表論文 20件
- 2) 電氣四學會九州支部第 35 回連合大會 (82.10.15~16) ; 發表論文 8個分野 423件
- 3) 文部省科學研究費補助金特定研究「Amorphous 材料・物性」에 관한 研究成果報告會 (82.10.26~29) ; 發表論文 65件
- 4) 第 6 回日本應用磁氣學會學術發表會 (82.11.15~17) ; 發表論文 249件
- 5) 昭和 58 年度電氣學會全國大會 (83. 4. 4~6) ; 發表論文 32 個群 1,484 件 및 14 課題 106 件的 特別發表
- 6) 電氣學會 Magnetics 研究會 (83. 4. 27~28) ; 發表論文 22 件

으로써, 어느경우에서나 政府, 企業 및 大學의 研究員이 일체가 되어 基礎理論으로 부터 응용에 이르기

\*正會員: 明知大學 電子工學科 副教授 · 工博

까지 진지한 발표와 토론이 이루어졌으며, 특히 이를 뒷받침 하는 것으로써 日本通産省에서는 1981년도 부터 1990년대, 즉, 次世代 産業基盤 技術이 될 수 있는 基礎的인 또는 先導的인 技術研究를 수행하는 새로운 研究開發制度를 마련하고 8~10년의 예정으로 막대한 연구비를 지원하고 있는 중이다.

다시 말하면 電子技術이나 에너지技術의 발전에는 언제나 새로운 材料의 개발이 필요하게 되는데, 光情報處理, 超電導 device, 에너지變換 등 앞으로 발전이 기대되는 새로운 機能이나 우수한 特性의 材料, 耐環境性材料의 개발에 중점을 두고 있었다. 즉, 結晶 또는 非晶質(amorphous)의 광범위에 걸쳐서, 材料의 제조와 安定性, 組成과 結合狀態의 解析 및 電氣·磁氣·光學的物性的 究明 등, 材料開發을 위한 연구를 진행함과 동시에 材料의 特性을 살린 새로운 응용의 개척에 열중하고 있었다.

다시 말하면, 에너지, 光應用, 電子機器, 情報 및 기타 많은 분야에서 필요로 하는 소형으로써, 高性能 및 高品質의 磁性材料의 개발을 목표로 하여 希土類, 鐵族 등의 合金, 化合物 및 希土類를 포함하는 ortho-ferrite 나 garnet 系 등의 酸化物磁性體의 作製와 그 物性を 연구하고 있다. 磁性은 구조 및 상태에 의존하는 부분이 많기 때문에, 동일계통의 材料에 관해서도 bulk 로 부터 薄膜, 單結晶으로 부터 amorphous 상태에 걸치는 광범위한 상태를 취급하고 있으며, 高性能에는 大型高品質의 單結晶成長을, 小型化에는 薄膜作製를 그 개개에 대해서 여러가지 방법을 비교 연구하고 있다.

學會로서는 電氣學會(Magnetics 研究會), 日本應用磁氣學會, 應用物理學會 및 金屬學會 등으로써 연간 발표되는 論文은 200~300건에 이르고 있다. 표 1은 第6回日本應用磁氣學會에서 발표된 論文을 조사한 것이다. 또 미국의 경우 IEEE(Magnetics) 및 Physical Society(MMM), 그리고 유럽의 European Physical Society(Magnetism Section)를 들 수 있는데, 특히 美國에서는 1956년에 AIEE, IRE 및 ISA의 공동개최로 "Conference on Magnetic Amplifier"가 탄생했는데, 1958년에 "Conference on Non-linear Magnetics and Magnetic Amplifiers"로 개칭되고, 다시 1961년에는 "Conference on Non-linear Magnetics"로, 또 1963년에는 國際會議가 되어 "INTERMAG"(International Conference on Magnetics)로 바뀌었다. 이 회의는 磁氣의 응용에 관한 세계적인 규모의 것으로서, 매년 봄에 개최되는데, 금년으로 21회가 되었

다.

이와같이 회의의 명칭이 자주 바뀌게 된 사실로부터도 알 수 있듯이 1950년대 부터 磁氣를 이용한 기술이 급격히 발전하게 되고 동시에 計算機 memory인 ferrite-core 나 磁氣記錄材料(테이프) 등의 수요 증가가 그것을 뒷받침한 것이라 할 수 있다. 표 2는 최근에 INTERMAG에서 발표된 論文을 조사한 것이다. 표 1 및 표 2의 사실로부터 磁氣工學分野에 있어서의 최근의 동향을 다음과 같이 요약할 수가 있다. 즉

1) 전체적인 경향으로써, 電力關係의 磁氣應用으로부터 計算機나 情報關係의 磁氣應用으로 옮겨왔으나, 최근 에너지 문제에 관련하여 Power-magnetics가 다시 주목되어 왔다.

2) 磁氣bubble, 磁氣記錄 등 memory에 관한 論文이 증가하고 있다.

3) 材料 및 金屬物理 등의 분야에서 磁性과 다른 物性과의 관계에 관한 연구가 증가하여, 熱磁氣, 光磁氣 및 磁歪 등이 새로이 응용되어 가고 있다.

4) 磁氣物性的 발달로 磁性體 내부의 기구를 微視的으로 다루는 수법이 많아 지게 되고, 磁區의 制御나 磁氣工學이 computer-magnetics의 새로운 분야를 만들고 있다.

5) 非晶質磁性體가 각광을 받게 되어, 이에 대한 연구가 많아지고 있다.

표 1.

	分 野	論 文 數
1.	薄 膜	16
2.	非晶質 薄膜	33
3.	非晶質 薄帶	13
4.	磁氣記錄 特性	8
5.	磁氣記錄 媒体	19
6.	光, 熱磁氣記錄	13
7.	磁氣 head	17
8.	Bubble device	12
9.	Ion 注入 bubble device	17
10.	Bubble 物理	5
11.	Bubble 材料 評價	6
12.	磁性 材料	20
13.	磁性體 物理	9
14.	磁氣 光學	14
15.	超急冷 合金	10
16.	磁氣 応用	30
17.	磁氣分離 (S)	7
	合 計	249

표 2.

開 催 年 次	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1 一 般			4	4	2	4	1	2	1	2	2	3		4		4	4	
2 材料(金屬物理)	5	19		33	13	19	28	27	38	64	20	23	43	111	35	55	125	29
3 Power Magnetics (磁氣增幅器 論理 포함)	48	31	41	26	30	20	16	5	15	22	16	50	56	35	30	38	55	49
4 Memory (薄膜, Ferrite 등) (Domain, Bubble)	30	25 (25)	37 (37)	39 (39)	30 (30)	58 (58)	75 (75)	65 (50)	87 (52)	82 (45)	69 (37)	86 (29)	61 (19)	62 (1)	66 (6)	54 (20)	82 (23)	57 (12)
5 磁氣記錄	9	7	11		10	11	40	30	36	44	18	39	42	31	34	53	38	41
6 磁氣光學				9	6	10	8	10	12	13	15	7	10		7	10	12	10
7 超電導		9	7	21	8	12	9			10	6	18	10	12	9	6	3	6
8 Microwave			5	10	9	11	24	4	12	20	7	6	16	10	12	20	12	20
9 測 定							11	8	12	16	6	3	6	10	9	8		10
10 Amorphous													7	45	21	35	61	30
11 Bio-magnetics													1			7		8
12 磁氣分離													20	8	9	15	14	12
13 기타							17	11		5	11	11	11	3	8	17	4	5
合 計	92	91	105	153	108	145	229	162	213	268	170	246	283	331	242	322	410	277

6) 希土類元素를 포함하는 物質의 磁性이 관심을 모우게 되면서 永久磁石이나 bulk 材料로서 실용되고 있다.

7) 磁氣分離, bio-magnetics, 磁氣浮上 등이 새로운 분야로서 등장하고 있다.

보다 세분된, 그리고 구체적인 기술은 다음 기회로 미루고, 우선 최근 電氣工學分野에서 장래가 기대되고 있는 새로운 鉄心材料로서의 高珪素鋼板과 低鉄損高磁束密度 amorphous 薄帶에 관한 개발 및 研究動向에 대해서 간단히 기술하기로 한다.

### ③ 高珪素鋼板

Si-Fe 合金은 Si量 6.5% 부근에서 磁歪가 零으로 되고, 高透磁率, 低히스테리시스損 및 高低抗率을 갖기 때문에 低渦電流損이라고 하는 우수한 磁氣特性을 갖고 있다는 것이 알려져 있는데 Si量이 4%를 넘게 되면 冷延이 곤란하게 되어, 工業化가 되지 못하고 있다. 그런데 최근 그의 실용화를 목적으로 하는 연구가 성과를 나타내기 시작하여 밝은 장래를 기대 할 수 있게 되어가고 있다.

최근의 발표에 의하면 6.5% Si-Fe 合金의 冷延性에 미치는 熱延의 영향을 조사한 결과 750°C의 熱延이 冷延性을 개선한다는 사실을 보고 하고 있다. 또 第3元素의 첨가에 의한 영향에 관해서도 연구가 되어서 4.33% Si-Fe 에 0~4.3% Al을 첨가하고 그의 冷延性을 검토하여 6.5% Al 첨가가

延性向上에 유효하다는 것도 발견하고 있다. 이어서 5% Si-Fe 에 Ni을 첨가하여  $\alpha+r$ 相을 생성하고, 熱延으로 結晶粒을 작게하여 延性을 향상시켜서, 薄板化가 가능하게 되었음을 보고하고 있다. 그 위에 4% Si-Fe 에 0~5% Ni을 첨가하여 延性이 개선되는 결과도 얻고 있다. 특히 成田氏등은 수년동안 Ni, Mn의 첨가와 Al置換이 6.5% Si-Fe 의 延性 및 磁氣特性에 미치는 영향을 연구하여 좋은 성과를 얻고 있다. Ni, Mn의 첨가에 관한 것으로써 그림 1(a)에 6.5% Si-Fe 의 引張應力 및 伸率을 (b)에 마찬가지로 冷延性에 미치는 영향을 각각 나타내었다. 이들 결과로부터 0.12% Mn의 첨가가 6.5% Si-Fe 의 磁氣特性을 해치지 않고서 冷延性을 개선한다는 사실과 또 冷延을 가능하게 하기 위해서는 冷延前의 燒鈍溫度를 600°C로 할 필요가 있다는 것 등이 확인되었다. 이어서 Al첨가에 관한 연구를 통하여 Si含有量 6.5%까지의 Si-Fe에 있어서 그 일부를 Al으로 置換해도 飽和磁化, Curie 溫度 및 固有抵抗이 변하지 않을 것으로 추측할 만한 결과를 얻고, 그에 관한 연구결과를 보고하고 있다. 그림 2 (a)는 6.5%(Si+Al)-Fe의 引張應力 및 伸率을, 또 (b)에는 熱延度率과 冷延性과의 관계를 각각 나타내었다. 이들 결과로부터 1.5% Al 置換이 6.5% Si-Fe의 磁氣特性을 해치지 않고서 冷延性을 현저히 개선한다는 것과, 冷延을 가능하게 하기 위해서는 熱延溫度 600°C가 적합하다는 것 등이 밝혀지기에 이르렀다.

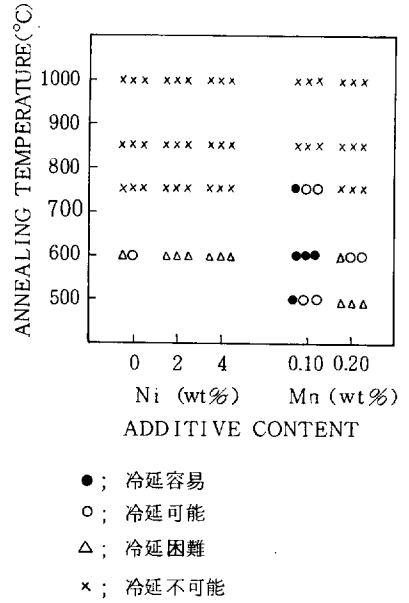
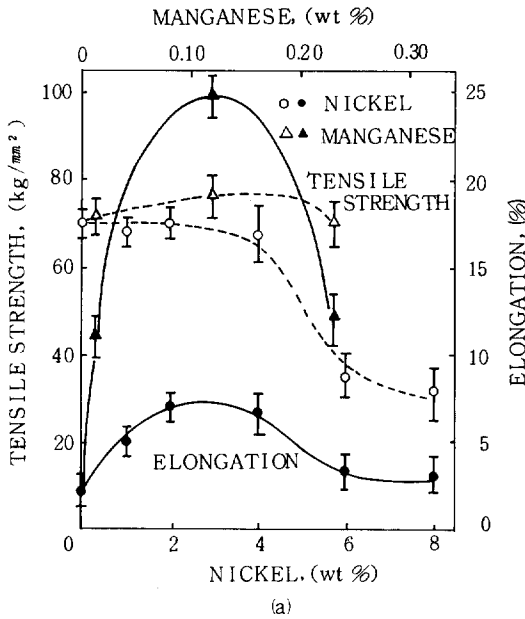


그림 1. 6.5% Si-Fe 의 諸特性에 미치는 Mn 의 添加效果  
(a) 引張應力 및 伸率 (b) 焼鈍温度와 冷延性

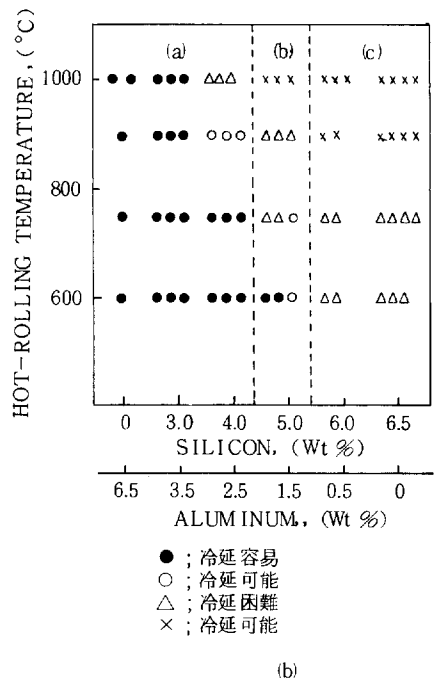
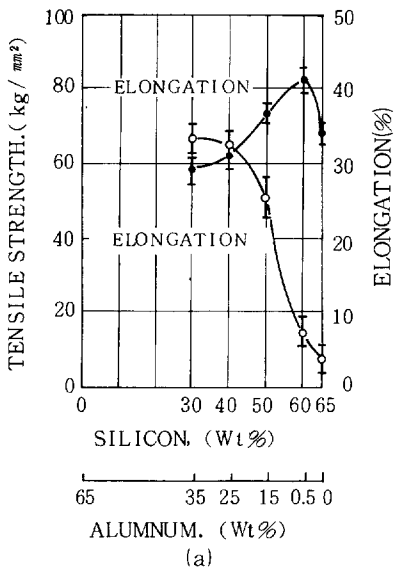
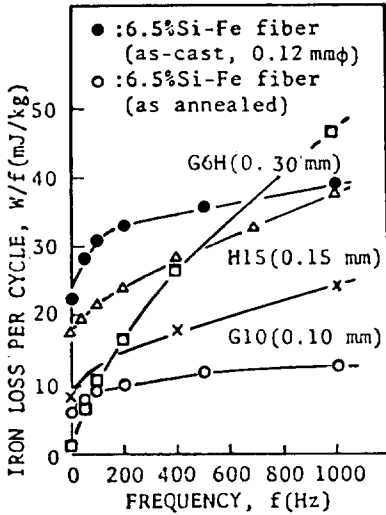


그림 2. 6.5% (Si+Al)-Fe 의 諸特性에 미치는 Al 의 置換效果  
(a) 引張應力 및 伸率 (b) 熱延温度와 冷延性

표 3. 6.5% Si-Fe 纖維, 方向性極薄珪素鋼板(GT25) 및 無方向性珪素鋼板(S14)의 直流特性

種 類	線徑 또는 두께 ( $\mu\text{m}$ )	保 磁 力 (A/m)	히스테리시스 損(mJ/kg)	最大透磁率 (mH/m)
6.5%Si-Fe	100	30	14.2	16
GT 25	25	49	22.2	11
S 14	350	35	19.2	9



G6H ; 高配向性 珪素鋼板  
G10 ; 方向性 珪素鋼板  
S15 ; 無方向性 珪素鋼板

그림 3. 6.5% Si-Fe 纖維 및 各種 珪素鋼板的 鐵損의 周波數 特性

또 6.5% Si-Fe 의 실용성을 높이기 위해서 纖維化도 시도한 결과 성공하여 여러가지 흥미있는 物理特性을 얻고 있다. 적당한 유리관 내에 넣을 合金粉末 은 高周波誘導加熱로 溶融되는데, 이 때 유리관 밑은 軟化되어 끈기를 갖게 되기 때문에, 밑에서 잡아당겨 늘이면 유리被膜으로 絶緣된 10 ~ 250  $\mu\text{m}$  의 6.5% Si-Fe 纖維가 얻어진다. 표 3에 나타낸 바와 같이 그 直流特性은 方向性極薄珪素鋼帶 등 보다 우수하다. 그림 3에는 6.5% Si-Fe 纖維 및 各種 珪素鋼板的 鐵損의 周波數特性을 나타내었다. 6.5% Si-Fe 纖維는 아주 우수한 鐵損의 周波數特性을 갖는다. 이의 大量生産方式이 실현된다면 小形電動機의 鐵心製造工程의 自動化 등에 많이 응용이 될 것으로 기대된다.

#### 4 非晶質鐵心材料

非晶質高透磁率材料에 관해서는

- 1) 磁歪를 零에 가깝게 하므로써 高透磁率化,
- 2) 組成制御에 의한 高磁束密度化

가 시도되고 있다. 1)과 2)는 각각 종래의 퍼어말로이와 珪素鋼板에 대신할만한 材料로서 주목되고 있다.

##### 4.1. 高磁束密度化

Amorphous 合金은 일반적으로 20 原子% 정도의 C, B, Si 및 P 등의 소위 metalloid를 포함하기 때문에 일반적으로 珪素鋼板에 비해서 飽和磁束密度  $B_s$  와 Curie 溫度  $T_c$  가 낮다. 따라서 amorphous 薄帶를 珪素鋼板 대신 置換하고자 할 경우에는 使用溫度에 있어서의  $B_s$  및  $T_c$  를 높이는 것이 바람직하다. Allied Co.에서는 1976년에 高磁束密度 amorphous 로서  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$  을 발표한 바 있다. Fe 의 일부를 Co 로 置換하면  $B_s$  가 높아질 것이 예상되는데, 原料費가 높아져서 좋지않기 때문에 B의 일부를 Si로 置換하는 것이 시도 되었다. 그림 4는 Fe-Si-B 合金으로서 높은 飽和磁化  $M_s$ ,  $T_c$  및 結晶化溫度  $T_{cr}$  이 얻어지는 組成領域을 나타낸 것이다. 그림에서 수평으로 그은 직선은 Si 含有量을 나타내고, 그와 60° 의 각도를 이루는 왼쪽 위 및 오른쪽 위의 직선은 각

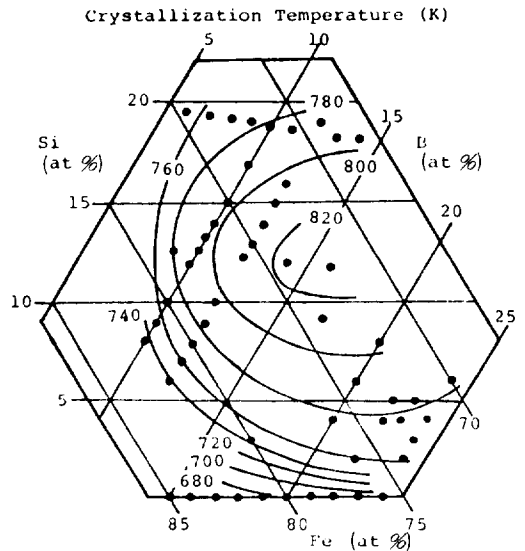


그림 4. 높은 飽和磁化  $M_s$ , Curie 溫度  $T_c$  및 結晶化溫度  $T_{cr}$  을 갖는 Fe-Si-B의 組成依存性

각 Fe와 B의 함유량을 나타내는 基準線이며, 복잡하게 만곡된 곡선은 Ms, Tc, 및 Tcr의 값을 나타내는 等高線이다. 이 외에도 몇가지에 대해서 시도한 결과가 발표되었는데, Fe-B-C, Fe-Ni-B-C 및 Fe-Co-B-C 계에 대해서 Bs 등의 組成依存性を 구한 결과, Fe<sub>86</sub>B<sub>8</sub>C<sub>6</sub>를 750°C에서 熱處理하여 Bs ≃ 1.73T를 얻고 있다.

### 4.2 低損失化

Amorphous 高透磁率薄帶는 超急冷에 의하여 作製된 그대로서도 우수한 磁氣特性을 나타내는데, 結晶性材料에 적용해 왔던 變形除去熱處理와 磁界中熱處理 등의 수단에 의한 磁氣特性的 개선이 시도되고 있다. 최근 Fe<sub>84</sub>B<sub>12</sub>C<sub>4</sub>에 磁界中熱處理 또는 變形除去熱處理를 하여 磁氣特性이 개선되었다는 결과가 보고되었으며, 또 鐵損을 低減하기 위하여 熱處理로 異方性を, 그리고 나아가서 磁區構造를 制御하는 것 등의 방법이 시도되고 있다.

### 4.3 使用上の問題

Amorphous 薄帶를 鐵心材料로 사용하고자는 경우에는 磁氣特性中 溫度特性 및 經時變化가 중요한 문제로 등장하게 된다. 이의 해결을 위한 한 방법으로써 Tcr을 높이는 것이 바람직하다. 이러한 점에서는 Fe-Si-B 계가 좋겠으나 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 Ms 및 Tcr을 최대로 하는 組成領域은 일치하고 있지않기 때문에, 위에서 언급한 문제를 고려하여 Fe<sub>81</sub>Si<sub>4</sub>B<sub>15</sub>와 같이 Si 數原子%, 나머지 Fe로 하는 amorphous 薄帶가 適當할 것으로 생각되고 있다.

Fe를 80原子%이상 포함하는 amorphous 薄帶는 珪素鋼板에 비해서 큰 磁歪를 갖기 때문에, 變壓器鐵心으로 사용하고자 할 경우에는, 磁歪에 기인하는 騒音과 振動에 따른 磁氣特性的 변화등을 經감해야 할 필요성이 있다.

### 4.4 量産技術

Amorphous 合金의 제조는 현재 一括處理方式 또는 半連續式의 제조법을 쓰고 있으며, 그 폭은 최대 15~100mm를 얻고 있다. 앞으로 150~170mm 폭의 제조가 계획되고 있는데 連續式의 大量生産方式에 들어가게 될 경우, 生産量은 대폭 증가하게 될 것으로 생각된다. 그림 5는 美國에서의 1980년을 예상한 amorphous 材料의 生産量과 가격의 推移를 나타낸 것이다. 開發의 속도는 그림보다 빠른 경향이

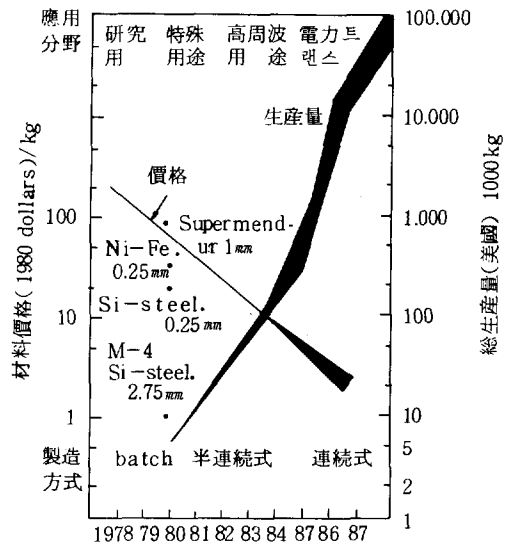


그림 5. 美國에 있어서의 非晶質合金의 生産量과 價格의 推移

있는데, 어찌되었든 連續製造方式이 채용되어서 量産하게 되는 것은 1985년 이후가 될 것으로 예상하고 있다. 그 때는 材料價格도 300만 원/ton대가 될 것으로 보고 있다. Allied Co.는 1983년에 年産 25,000ton의 量産體制를 갖추게 되는데, 한편 日本에서는 新日本製鐵(株)가 1981년 부터 5年計劃으로 新技術開發事業團의 資金授助下에 研究開發을 進행하고 있다.

또 유럽과 中共에서도 變壓器에의 적용에 큰 관심을 나타내고 연구에 열중하고 있는 것으로 알려져 있다.

## 5 結 言

이상에서 기술한 것은 표1 및 표2에서 부터도 알 수 있는 바와같이 현재 美國, 日本을 비롯한 유럽 각 지역에서 활발히 進행되고 있는 새로운 磁性材料 開發을 위한 研究動向의 일부를 소개했을 뿐이다. 특히 日本의 경우 이 분야에 대한 연구는 대단하여 電氣, 電子, 通信 및 電子計算機의 各種高性能 新素子の 開發 및 應用을 위한 政策課題가 되어 있으며 政府로부터 막대한 授助(課題當數 ~ 數10억엔)下에 政府, 企業 및 大學이 일체가 되어 基礎理論으로부터 응용에 이르는 전반에 걸친 연구가 활발히 進행되고 있다. 이는 材料製造上의 資源節約은 물론 에너지節約面에서도 상당한 성과를 挙우고 있는 것으로 알고 있으며, 日本이 오늘날 先進工業國을 자처하게

된 것도 이와 같은 결과에서 비롯된 것이라고 해도 과언이 아닐 것으로 생각한다.

우리도 이 분야에 큰 관심을 갖고 뜻을 같이하는 研究從事者가 날로 증가하고, 또 그로인한 많은 研究성과가 발표 및 응용되어서 하루라도 빨리 先進工業國이 되는데 보탬이 될 수 있게 되는 날을 고대하면서 拙筆을 맺는다.

끝으로 滯日中 이 분야에 많은 것을 보고 또 배울수 있도록 精神的 그리고 物質的인 많은 도움을 베풀어준 九州大學工學部 電氣工學科의 成田賢仁 教授께 깊은 감사를 드린다.

參 考 文 獻

- 1) K. Narita; IEEE·Trans. Vol. MAG-10. No. 2, pp. 104-108, 1974
- 2) K. Narita, N. Teshima, M. Enokizono and H. Funahashi; Proc. 3rd, European Physical Society Conference on Soft Magnetic Materials, pp. 245-254, 1977
- 3) 成田賢仁; 日本金屬學會會報, Vol. 18, No. 1, pp. 8-14, 1979
- 4) 櫻井良文; 現代磁氣工學, オーム社 (1981)
- 5) 成田賢仁; 電氣學會雜誌, Vol. 101, No. 5, pp. 384-389, 1981
- 6) K. Narita, N. Teshima, Y. Mori and M. Enokizono; IEEE, Trans, Vol. MAG-17, No. 6, pp. 2857-2862, 1981
- 7) 應用磁氣學會; 第6回日本應用磁氣學會學術講演概要集 (1982)
- 8) 佐藤 駿, 外; 應用開發進むアモルファス金属材料, (株)CMC (1982)
- 9) 櫻井良仁; 文部省科學研究費補助金特定研究アモルファス材料·物性, 昭和57年度研究成果報告書 (1983)
- 10) 成田賢仁, 手島 昇, 則松直樹, 慎鏞璉; 電氣學會Magnetics 研究會資料, MAG-83-61, pp. 27-34, 1983
- 11) 慎鏞璉, 手島 昇, 成田賢仁; 昭和58年電氣學會全國大會講演論文集, No. 209, 1983
- 12) K. Narita, N. Teshima, Y. Yamashiro, Y. J. Shin and Y. Yoshida Proc. 6th European Physical Society Conference on Soft Magnetic Materials, Sept. 1983.