

자성재료의 기술개발 동향



양 충 진
(포항산업과학연구원 연구팀 부장)

1. 서론

자기현상의 근본 원리 규명에 대한 연구는 재료과학분야 또는 고체 물성 연구과제분야 중 가장 오랜 역사를 지닌 문제 중의 하나라 할 수 있다. 자연계에 존재하는 자석은 기원전 7세기경부터 인간에게 알려진 것으로 기록되어 있고 그후 오랫동안 나침반으로 사용되어 왔다. 하지만 자석의 원리에 대한 규명은 양자역학이 생기고 전자의 스핀개념 도입된 20세기초에 서야 시작되어졌다. 그나마 현재까지도 자기현상의 아주 기본적인 개념만이 알려진 상황이고, 금속, 부도체 또는 화합물 등에서 일어나는 다양한 자기 현상들을 일관성 있게 설명하는 완전한 이론의 정립은 아직도 요원한 문제라 할 수 있다.

주기율표에서 자성을 띠고 있는 물질은 Cr, Mn, Fe, Co, Ni등의 3d전자를 갖는 전이 금속과 4f, 5f등의 전자들을 갖는 희토류(Rare earth), 악타나이드(actinides)물질들, 또는 이들의 화합물들에서만 관측된다. 따라서 자성이 3d나 4f전자들에서만 존재하는가 하는 것을 이해하는 것이 자기 현상 원리 규명의 첫걸음이 될 것이다. 이들 전자들의 큰 특징은 한마디로 다른 전자들에 비하여 국재화(localized)되어 있다는 것이다. 즉 전하밀도가 핵의 근처에 분포되어 있어 인근 원자에 위치한 전자들과의 파동함수 중첩(overlap)이 작고 따라서 주위 원자로의 이동 확률(hopping probability)이 s, p전자나

4d, 5d전자들에 비하여 작다.

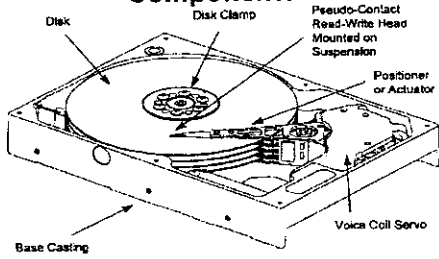
그러므로 이들 물질은 에너지며 폭이 좁은(narrow energy band)특성을 갖고 있다. 이러한 상황에서 전자 스핀들간의 교환 상호작용 효과가 커지고 이로 인하여 스핀이 한 방향으로 정렬하여 자성을 띠게 된다. 전이 금속의 자성은 대부분 3d 전자의 스핀의 정렬에 기인하지만 희토류, 악타나이드 물질들에서는 전자의 스핀뿐 만 아니라 궤도 각 운동량에 의한 자기모멘트도 중요하여져 이들간의 spin-orbit 상호작용도 고려하여야 하기 때문에 문제가 더욱 복잡하게 된다.

2. 자성재료의 분류 및 용도

우리 나라의 전기 전자 산업이 70년대 중반 이후 급속히 발전해 온 이면에는 자성재료의 발달과 제조기술 및 응용기술이 동시에 공헌한 바가 큰 것에도 기인한다. 현재는 반도체 재료와 함께 모든 전자기기 부품 및 제품에는 필수적으로 사용될 뿐 만 아니라, 정보통신, 우주공학, 생명공학 등 다양한 산업적 측면에서 응용되고 있다.

역사적으로 자성재료는 인간의 일상생활에 밀접하게 연결되어 인간 문화생활의 향상에 직접적으로 도움을 주었다. 나침반의 발견, 라디오의 개발, 유선통신 기기의 출현, 동력전달을 위한 모처의 출현 등을 거쳐, 변압기의 사용, TV의 출현,

Overview of Disk Drive Components



MEMORY HIERARCHY

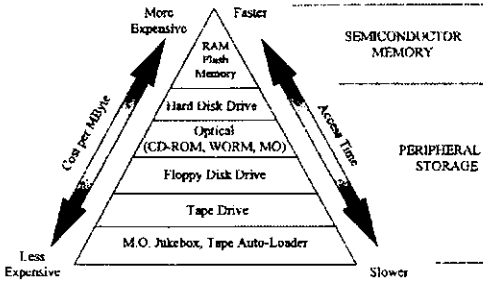


그림 1. 정보저장, 통신부품에서 자성소재의 대표적 용도

현 시대의 최대의 총아로 등장한 각종 오디오(audio) 및 비디오(video) 관련 제품, 21세기에 걸쳐 계속적으로 인간 문화 생활에 직결되어 발전되어 갈 컴퓨터, 유무선 통신관련 기기, 등에도 자성재료와 그 응용부품은 필수적으로 사용되고 있는 핵심소재이다. 따라서 자성재료의 개발, 응용성 확대, 자성소재 응용제품의 가격하락 및 제조공정의 단순화 등은 21세기에 서 해결 할 숙제이다(그림 1 참조).

국내 전자산업이 70년대 중반 이후 급속히 활기를 띄면서 자성재료산업 역시 80년대 이후 급 성장하여, 90년대 중반 현재 국내 자성재료 및 관련제품 증범용의 생산기술, 제품, 응용 산업 측면에서는 상당한 수준에 이르렀고 시장규모도 일본 다음으로 세계시장에 공헌하는 바가 크다. 예를 들어, 산화철을 이용한 페라이트 자석(Ferrite magnet)과 연자성 산화철(Soft ferrite)의 생산량을 수출을 포함하여 세계시장의 7~9%를 차지하며('95년 현재), '98년 이후에는 10%를 점유하고 있다. 한편, 각종 계측기기, 음향기기, 적산전력계 등에 많이 쓰이는 알니코(Alnico)의 생산은 세계시장의 40%이상을 점유하고 있다. 반면, 정밀설, 고기능성 등을 요구하는 오디오, 비디오, PC 주변기기 및 통신기기 관련 부품에 사용되는 고급 페라이트 자석(Ferrite magnet), 회로류 자석 등의 소재 및 응용부품은 국내의 자립기반이 약해 아직도 전량 수입에 의존하는 실정이다. 즉, 국내의 자성재료 관련 산업은 범용

에서는 많은 양을 수출하고 있지만, 고급용에서는 전량을 수입해야 하는 이중구조를 형성하고 있다. 이러한 이유 중의 하나는, 수출위주의 전자·전기 응용제품을 생산하기 위해서는 독자적인 소재 개발에 힘을 쓸 시간적 여유가 없었고, 부품제조에 핵심기술인 설계능력이 부족하여 자체개발에 투입하는 경제적인 규모가 수입보다는 불리하게 작용하는 등, 산업 구조적인 문제가 상존하고 있기 때문이다.

자성재료를 구분하는데는 용도별, 재료 종류별 또는 기능별로 구별할 수가 있겠으나, 본고에서는 학술적으로 많이 사용되는 기능별로 구별하여, 국내산업과 관련된 대표적인 자성재료의 생산현황, 기술개발 동향, 그리고 향후 대차전력 등을 간략하게 소개하고자 한다. 자성재료를 기능별로 구별할 때는 연자성재료(Soft magnetic materials), 경자성재료(Hard magnetic materials), 그리고 자기기록 매체(Recording media and head)재료의 3가지로 대별한다. 표 1에 대표적 자성재료의 종류와 그 용도를 정리하였다.

2.1 연자성재료(soft magnetic materials)의 자기 특성

연자성 재료를 P/M(분말야금)공법에 의하여 제조하는 가장 큰 장점은 저렴한 생산가로 bulk 재료에 거의 상응하고 자기특성을 발휘할 수 있는 기술이 개발되었기 때문이다. 즉, 연자성 분말을 제조하여 소결 또는 compounding에 의한 프레스성형에 의한 제품에서도 응용부품이 요구하는 히스테리시스(hysteresis)특성, 고주파특성 및 내식성을 가질 수 있기 때문이다. 자기특성을 고려할 때 P/M 공정에서 중시되는 것은 일단 프레스성형과정에서 최대한의 성형밀도를 얻어야 한다는 것이다. 따라서 밀도극대화화 관련한 공정변수를 함수화하여 사용하는 것이 필요하다.

연자성 재료의 자기특성으로는 일반적으로 투자율이 크고, 보자력이 작으며, 따라서 자기회로를 구성할 때 magnetic flux의 흐름이 원만하여 외부자장 또는 교류전류에 따른 응답성이 신속해야 한다. 결과적으로 변화장치의 부품(power transformer), 전자기부품(electromagnetic parts) 또는 구동모터의 자심(core)이 주용도가 된다. 그러므로 상기 모든 부품은 AC고주파 응용범위에서 자심손실(core loss)이 적은 특성을 요구하고 있다. 자심손실이란 부품이 교류전류(또는 자장)에 노출될 때 열에너지로 변화되어 발생하는 손실을 말한다. 따라서 에너지 효율을 극대화 함으로써 손실을 줄일 수 있으며, (1) 자기특성에 필연적으로 발생하는 히스테리시스 손실(hysteresis loss)과 (2) 교류전류에 의하여 발생하는 와전류손실(eddy current)이 그 발생원이다.

Hysteresis loss는 사용주파수(f) 및 연자성 재료의 자기이력에 비례하여 발생하며 다음과 같이 표현된다.

$$\text{hysteresis loss} = K_h \cdot (\text{loop area}) \cdot f$$

표 1. 자성재료의 분류

분류	소재 형태	재료 종류	대표적 용도
연자성재료 (Soft magnetic materials)	순철 및 합금강재	· 순철, 규소강판 · Permalloy, Sendust	· 요크재, 변압기자심, 모터자심 · 압분자심(core)
	연질 페라이트	Mn-Zn페라이트, Ni-Zn페라이트, Mg-Zn페라이트	각종 압분자심(인덕터 코어), 노이즈필터, 전파흡수체, chip형 저항기 /축전기, 박형트랜스
	비정질 및 초미세립 합금	· Fe 및 Co계비정질 · FeNbCuSiB계 등.	소형트랜스 자심, 변압기 자심, 각종 소형정자기기의 자심
	연자성 박막합금	· Fe계 및 Co계 박막	· 자기헤드, 자기센서 소자 · 자기기록 매체, 자기저항소자
경자성재료 (Hard magnetic materials)	합금 자석 (주조자석)	· 알니코(Alnico) · Fe-Co-Cr, Fe-Co-V, Cu-Ni-Fe, Mn-Al	· 계측기기, 음향기기, 전력계 · 계측기, 전화기, 우주항공기기
	희토류 자석 (소결 및 분드자석)	· Nd-Fe-B · Sm-Co	· 각종 구동모터, actuator류, (OA, FA, HA 용 및 가정용품) 비디오, 오디오 용 drive · 고온용 자석: 특수용도의 기기 (의료기기, 과학장비, 우주항공)
	경질 페라이트자석 (소결 및 분드자석)	· Ba-ferrite · Sr-ferrite	각종 소형 구동모터(AC, DC) 완구류, 산업장비, 오디오/ 비디오용 drive
	고무 자석 (희토류, 페라이트)	· 페라이트 고무자석 · 희토류 고무자석	가스켓용(냉장고, 생활기기...), 완구류, 문구류 장식
자기기록매체 (Recording media)	페라이트 분말 (페리자성체)	· γ -페라이트(Co: γ -페라이트), Ba-ferrite 분말 또는 박막 · CrO ₂ 분말	· 오디오 및 비디오용 tape, PC용 디스켓 · 음악 카세트 tape
	금속분말	순철분말	음악 카세트/고급 비디오 tape
	박막소재	Co-Cr, 희토류-(Fe, Co) Fe-Co-Ni(-P)	· CD 디스켓, · 광자기 디스켓

Eddy current loss(와전류 손실)은 연자성 재료의 포화자화력(B_s), 재료의 입도 또는 두께(d) 및 사용주파수 제곱에 비례하여 발생하며, 연자성 재료의 전기저항(ρ)에 반비례하여 발생한다.

$$\text{eddy current loss} = K_e \cdot \frac{d^2 \cdot B^2 f^2}{\rho}$$

결국, 연자성 재료의 전자기 응용부품에서 자심손실을 최소화하기 위해서는 부품의 칫수를 최소화하거나, 사용주파수의 한도를 정해줄 필요가 있다. 반면에 재료의 전기저항을 극대화할수록 와전류 손실을 줄일 수 있으므로 전체손실을 감소시킬 수 있게된다. 그림 2에 전술한 자심손실의 경향을 정리하여 도식화하였다.

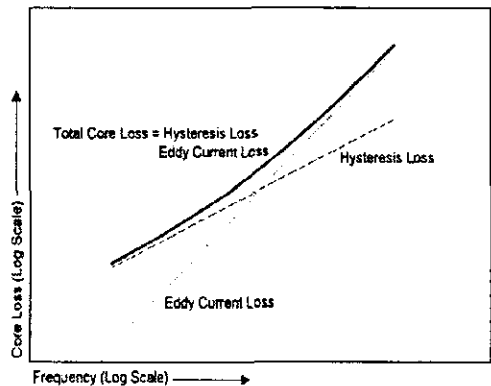


그림 2. 연자성체 자심부품의 자심손실 관계도

2.2 연자성재료 분야

연자성재료의 특징은 용도별로 약간씩은 차이가 있으나 근본적으로 외부자장에 의해 반응도가 높은 것(透磁率)이 높다고 말할)을 요구하게 되며 외부자장의 부하방향에 따른 반응속도가 빠른 것(鐵損이 작다고 말할)을 요구한다. 따라서 산화철이건 금속합금 이건 주로 변압기, 발전기, 모터류, 최근에는 파워 스위칭 전원(power switching supply)등과 각종 core류(인덕터, 필터, 저항기, 축전기) 그리고 자기기록용 헤드(hard) 등에 사용되고 있다.

2.2.1 규소강판(Fe-Si steel sheet)

산업용으로 연자성재료 중 최대의 생산량과 많은 소요량을 가지고 있다. 주로 중전기 및 가정용 각종 전기제품에 철심재(core)로 사용되고 있으며 종류별로는 크게 변압기 용도로 사용되는 방향성(grain oriented)과 각종 모터 및 구동용 회전기에 사용되는 무방향성(non-grain oriented) 강판으로 나뉜다. 방향성, 무방향성으로 구별되는 것은 규소강판의 제조시 결정립 미세구조를 처리하는 기술이 근본적으로 다르며 용도와 소요량이 달라 그 가격도 많이 다르다. 방향성, 규소강판은 기술적으로 제조하기가 까다롭고 따라서 가격도 무방향성에 비해 1.5배 정도 비싸다.(120만 원/톤) 그러나 현재 국내시장의 소요량은 오히려 무방향성이 더 많고 국내에서는 유일하게 "포항제철"에서 두 가지의 규소강판 모두를 생산하고 있으며 '00년 현재 30만 톤의 생산을 하고 있다.

규소강판의 용도가 중전기/변압기의 磁心소재인 만큼 鐵損 감소에 의한 전기에너지의 절약이 우선이므로 방향성 규소강판의 자기특성 중 殘留磁鍊밀도(magnetic induction)를 극대화하는 것이 최우선이며, 다음으로는 渦電流(eddy current)에 의한 에너지손실(cross loss)을 최소화 하기 위해 薄板으로 제조하는 기술이 중요하다. 일본의 경우 신일본제철(NSC) 및 가와사키(Kawasaki)제철을 중심으로 지난 60년간 꾸준히 규소강판의 개발을 거듭하고 있으며 高자속밀도 및 박판 제조기술을 동시에 확립하여 자속밀도 최대 1.93 Tesla 이상과 두께 0.23mm까지의 압연기술을 확보하고 있다. 국내 "포항제철"은 짧은 역사에도 불구하고 규소강판을 생산한지 13년만에 0.27mm 두께의 자속밀도 1.84 Tesla급의 소재 생산을 시도하고 있다. 이때의 철손치는 일본과 동일한 0.8~2.1 W/kg(W17/50)범위에 이른다.

무방향성 규소강판은 소형모터의 자심소재로 개발되고 있으며 특히 자심의 가공상 여러장의 강판을 적층하여 자심형태로 가공하는 打抜성(punchability)이 좋아야 한다. 고자속밀도와 더불어 저철손의 박판이 고급제품의 목표이며 현재 일본에서는 0.3~0.5 mm 두께의 박판에서 철손 2~2.3 W/kg(W17/50)의 수준을 보이고 있으며 "포항제철"에서는 0.35 mm 두께의 강판과 최대 자속밀도 1.6~1.75 Tesla 급의 무방향성 강판을 생산하고 있다.

기존의 규소강판은 조성이 Fe-(1.5~3.0)% Si 범위였지만 에너지절감을 위해 고주파 영역에서 자심의 용도가 증가하고 있고 이에 적용하기 위하여 최적의 고주파특성을 보이는 Fe-6.5% Si 강판의 개발이 착수되었다. 일본 NKK에서는 1993년에 최초로 CVD(화학증착법)에 의한 무방향성 극박판(0.1 mm 두께)을 선보였다. 이러한 소재는 향후 고주파 변압기, 고주파 송배전 중전기 또는 항공기 부품 및 磁氣차폐 용도로 사용이 확장될 전망이다. 아직 상용화가 되기 위해서는 가공성 향상, 제조비용의 절감 등 개발해야 할 문제점이 많이 남아 있다.

2.2.2 퍼멀로이(Fe-Ni 계 합금) 및 샌더스트(Sendust: Fe-Si-Al 계 합금)

연자성 재료의 가장 기본적인 요구조건이 高透磁率이며 연자성 소재 중에서는 퍼멀로이(Permalloy)가 가장 우수한 투자율(초기 투자율 : 60,000~100,000)을 보유하고 있다. 또한 보자력이 작고 가공성이 좋아 전통적인 연자성 소재로 인정받고 있다. 따라서 과거에는 각종 자심부품에 퍼멀로이(Permalloy)를 사용해 왔으나 Ni를 주성분으로 하기 때문에 高價인 것이 최대의 단점이고 점점 규소강판 또는 비정질 자심으로 대체되고 있는 실정이다. 주로 35~40% Ni, 40~50% Ni 및 70~85% Ni 급으로 분류되어 생산되고 있으며 Ni의 함유량에 따라 투자율의 범위 가공성 및 가격이 달라지므로 통신기기(변성기)의 자심재료, 오디오용 자심부품(자기 증폭기, 고주파, 발생기) 자기차폐용 박판소재 그리고 박막형태로 사용되는 자기헤드(recording head)등으로 그 용도가 구별된다. 최근에는 고가의 Ni를 줄이고 자기특성을 유지하기 위한 방편으로 Ni 대신에 Cr, Mo, Cu, V, Nb 등을 첨가하는 내식성 퍼멀로이 소재의 개발도 시도하고 있으나 여전히 Fe-Ni 조성의 소재가 각종 자기차폐 및 오디오용 자심부품으로 많이 사용되고 있다.

Sendust는 30년대부터 연자성재료로서 사용되어 왔다. 대표적 조성으로 Fe-(9~9.6)%Si-(5.4~6.5)%Al 합금인 본 소재는 주요 분말로 생산되어 燒結제품으로 사용되고 있다. 초기에는 전통적인 VCR 헤드용으로 사용되어 오다가 최근에는 박막형태의 recording head로 사용되고 있다. 또한 최근에는 통신기기용 소결형 자심부품으로 많이 사용되고 있다. 특히 국내에서는 노이즈필터(noise filter)용으로 급속히 용도가 확산되고 있다. 높은 자속밀도(0.9~1.6 Tesla)와 극히 낮은 보자력(0.05 Oe 이하)을 보이며, 특히 내마모성이 우수하여 카드의 자기 기록 인식재료(card reader)로 용도가 확장되고 있다.

2.2.3 非晶質 소재(Amorphous strip)

일반 금속재료에서 내부 원자들의 배열은 일정한 結晶構造를 가지면서 정렬되어 있지만 금속재료가 熔融상태에서 급속

히 凝固되어 내부 원자들이 정렬을 할 시간적 여유를 갖지 못하면 원자들은 무질서한 배열로서 결정질 금속재료와는 전혀 다른 특성을 보유하게 된다. 이러한 상황을 비정질 상태라고 정의한다. 비정질 금속은 결정구조의 배열에 따른 특정한 異方性이 없고 재료내부에 특정 결함이 없이 대체로 넓은 조성 범위에서 각 원소의 일정 배분으로 조합이 가능하며 실용적인 면에서 고강도, 내식성, 등의 기계적/화학적 특성이 우수하다. 그러나 산업적 측면에서 유용한 것은 자기특성이 실용적으로 우수하여 연자성 재료로서 용도가 광범위하다. 기존의 규소강판, 퍼멀로이, 샌더스트 등의 연자성 재료는 자기특성은 우수하나 각기 용도가 사용주파수에 한정되어(주로 10 kHz 이하) 왔고 자기특성이 전반적으로 만족스럽지 못한 것이 결점이었다. 그러나 비정질 자성재료는 기존의 결점들을 고루 만족하여 고주파 범위에서 각종 용도의 자심소재로 만족할 만큼 그 사용범위(1 kHz~10 MHz)가 넓다. 아래 표 2에 비정질합금의 고주파 응용부품에 사용되는 용도를 정리하였다.

표 2. 비정질합금의 자기특성과 응용분야

특 성	고주파 특성	주요 응용분야
자기특성	*고 투자율	*자기헤드(비디오/오디오), 자기차폐
	*저 자심손실(core loss)	*변압기 철심, choke coil, 모터 자심 고주파 트랜스, spike killer
	*hysteresis curve의 각형성	*자기증폭기
	*고 자왜변형성	*자기센서(토크, 유압, digitizer...)
	*수직자기이방성	*광자기기록매체
*자기변형/임피던스/주파수특성	*pen PC의 tablcct, 속도센서 도난방지센서...등	

국내에서는 아직 비정질 스트립의 생산은 하지 않고 있으나 소형 전력기기용 자심, 즉 switching mode power supply용 core 또는 각종 오디오용 자심부품에 소형 비정질 코어를 사용하고 있으며 그 시장은 급속히 확대되고 있다. "유우유"(아모텍)산업 또는 "한국코야"와 같은 전통적인 국내의 자심제품 제조업체에서 코어제품을 개발하여 비정질의 소요량은 계속 확대되고 있으며 현재까지는 미국 또는 러시아에서 일부 소요량을 충당하고 있다. "포항제철"과 본래 비정질소재의 특허기술을 보유하고 있는 미국의 Allied Signal사와의 합작회사 토의가 있었으나 현재는 무산된 상황이다.

2.2.4 연질 페라이트(Soft ferrite)

자성산화철을 근간으로 하는 연질페라이트는 강판제조 공정 중 酸洗(pickling)단계에서 발생하는 부산물(α - Fe_2O_3)로부터 복합 산화물로 제조된 분말이다. 그러나 산세공정에서 사용

하는 酸의 종류나, 분무되는 산화철의 처리공정에 따라 연질 산화철의 순도는 달라지게 되므로 제강공장의 산세 단계에서부터 연질페라이트의 용도를 고려하여 그 처리과정 및 첨가원소(주로 SiO_2 , Cl, CaO 등의 원소가 중요 함)를 추가로 혼합하여 고주파특성 및 자기특성을 조절하고 있다. 현재 "포항제철"에서는 연질페라이트의 용도로 가능한 산화철이 연간 20,000톤 정도가 생산되고 있으나 국내 연질 페라이트의 소용량은 25,000톤 정도로서 나머지 5,000톤 정도는 주로 고급 자심 재료로 사용되는 산화철이며 전량 수입에 의존하고 있다.

연질 페라이트는 구성 원소에 따라 자기 및 고주파특성이 많이 다르다. 대표적인 연질페라이트는 MnO , $ZnO(Fe_2O_3)$ 을 혼합/소성하여 투자율이 높고 고주파 영역에서도 자심손실이 작은 Mn-Zn계 페라이트가 있으며 특히 자심손실이 작아 주로 범용의 소형 전자기기의 자심부품으로 가장 많이 쓰이고 있다. 국내에서 연자성재료 중 가장 산업적으로 활발히 취급되고 있으며, 재료 및 제품개발에서도 활발히 움직이고 있다. 스위칭 전원, TV의 편향요크(DY yoke), 플라이백 튜브(flyback tube: FBT)등의 가전용 비디오 및 오디오 제품의 자심(noise filter, choke coil)에 많이 쓰이고 있다. 전자응용 제품이 소형화하면서 전자회로의 온도특성에 맞추기 위해 저온燒成으로 제조가 가능한 Ni-Zn계 페라이트 자심의 용도가 요구되고 있으며, 주로 표면실장용(surface mounted device)으로 소형 칩(chip)형 제품의 개발이 요구된다. 자심부품의 소형경박화가 달성되기 위해서는 온도의존성이 훌륭하고 형상설계의 개발에 따른 자심손실의 최소화가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 출발 산화철인 Fe_2O_3 의 순도가 높아야 하며, 특히 산화철 내에 SiO_2 함유량이 절대적으로 적고 또한 그 함유량이 일정해야 한다. 국내의 고급자심 제품생산에 가장 문제는 이를 해결하지 못하는데 있다.

국내에서는 "삼화전자"가 주로 가전 전자제품의 각종 자심을 제조하며 국내 최대의 생산량을 보이고 있고(연간 15,000톤), "이수세라믹"은 TV의 DY 및 FBT용 자심, "한국TDK"는 각종 인더터 코어를 연질페라이트 분말을 사용하여 제조하고 있다. '98년 이후 "포항제철"에서 연질페라이트용 산화철 20,000톤 정도를 추가로 생산하고 있으며, 국내 연질페라이트 응용부품의 생산량은 총 35,000톤을 예상하고 있다.

3. 硬磁性재료(Hard magnetic Materials) 분야

주로 영구자석재료로 일컬어지며, 자화력을 오랫동안 유지하려고 하는 보자력(coercivity)과 높은 자화력(잔류자속밀도:remanence)의 적을 나타내는 자기에너지적(energy product)이 높은 특성을 이용하는 소재이다. 금속 합금자석, 稀土類 원소(주로 Nd, Sm)와 철(Fe) 또는 코발트(Co)를 주성분으로 하는 희토류 화합물 자석과 자성산화철(Fe_2O_3)을

표 3. 연자성 재료 제조회사의 생산 품목과 생산 계획 품목

업체 이름	생산 품목	생산 계획 품목
삼성 코닝	· 로터리 트랜스포머	· 스몰 사이즈 코어
유립 전자	· 안테나 코어 · 스몰 사이즈 코어	· 각종 소프트 페라이트 코어
이수 세라믹	· DY,EE,EI 코어	· 각종 소프트 페라이트 코어
삼화 전자	· DY,FBT,EE,EI 코어 · 로터리 트랜스포머	· 전파흡수체 관련 페라이트 코어 · 각종 소프트 페라이트 코어
한국 TDK	· 스몰 사이즈 페라이트 코어 · 로터리 트랜스포머	· 각종 페라이트 코어
보암 산업	· 스몰 사이즈 코어 · 전파흡수체 타일	· EI 코어 · 고투자율 코어
영화 직물	· 안테나 코어 · 스몰 사이즈 코어	· EI, DY 코어 · 고투자율 코어
삼양 산업	· 일반 산화철(저급, 중급)	· 고급 산화철
삼파 기업	· 일반 산화철(저급, 중급)	· 고급 산화철
코니 산업	· 전파 흡수체	· 일반 산화철
한국 코아	· 트랜스포머코일 · 실드코어 · 펄러스트코어 · 순철코어 · 퍼말로이코어 · 모터코어	· 비정질 자성재료
삼경 정밀	· 컷코어 · 링코어 · R코어 · EI코어	· 비정질 자성재료
한국 성산	· EI코어 · 모터코어 · 특수코어 · 실드코어	· 비정질 자성재료

근간으로 하는 경질 페라이트(hard ferrite)자석 등이 산업적으로 많이 쓰인다. 표 1에 정리하였듯이 국내에서는 알니코(Alnico)자석을 “태평양양금속”에서 독점적으로 생산하여 국내 수급 및 수출을 하고 있으며, 경질 페라이트 자석은 “포항제철”의 부산물로 생산하는 산화철을 사용하여 Sr 또는 Ba원소의 혼합 및 소성을 통해 제조된 페라이트자석으로 “태평양양금속”, “한국페라이트”, “쌍용머티리얼” 및 “카본로렝”(구 “동국합섬”)에서 연간 총 55,000톤이상을 생산하여 국내수급 및 수출을 하고 있다.

3.1 알니코(Alnico)자석

금속합금 자석으로 가장 많이 쓰이는 구조형 자석으로 Fe-Co-Ni-Al-Ti-Cu 등의 원소를 주성분으로 한다. 상기 조성합금을 磁場 중에서 열처리하는 동안 자화력이 큰 Fe-Co 주성분의 析出物이 미립자 형태로 생성되어 보자력($H_c=800\sim 1200$ Oe)과 경자성재료 중 가장 높은 잔류자화($B_r = 11\sim 12$ kG)값을 보인다. 보자력이 비교적 약한 대신에 자화력이 높고 또한 큐리온도(Curie temperature)가 800℃정도로 높은 장점이 많아 음향기기, 각종 계측기기, 발전기기 등에 사용

되고 있으나, 주성분 중의 Co가 高價인 관계로 그 용도가 제한되고 있다. 최근에 소결법으로 제조하는 기술이 일본 Hitachi와 한국의 RIST(포항산업과학원)에서 독자적으로 개발되어 소형정밀 자석의 용도 확장이 예상되고 있다.

3.2 경질 페라이트자석(소결자석 및 수지본드 자석)

국내에서는 “포항제철”에서 부산물로 생산되는 자성산화철(Fe_2O_3)과 $BaCO_3$ 또는 $SrCO_3$ 등의 탄산염을 혼합, 소성하여 자기특성이 우수한 경질페라이트 자석을 만든다. 최종 화학식은 $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ (바륨페라이트 자석) 또는 $SrO \cdot 6Fe_2O_3$ (스트로튬페라이트 자석)이며, 자성분말을 소성하여 구운 자석을 소결자석이라 일컬으며, 자성분말을 수지바인더에 혼합하여 프레스성형 또는射出성형한 것을 수지 자석이라 한다.

한편 고무성분과 혼합하여 성형한 고무자석류도 사용되고 있다. 영구자석 소재 중에서 가장 범용으로 사용되고 있으며, 현재 세계적으로 생산량과 소요량도 가장 많다. 세계 생산량이 연간 30만톤에 달하며, 국내 생산량이 “한국페라이트”, “태평양양금속”, “쌍용머티리얼” 및 “카본로렝”(구 “동국합섬”)생산을 합쳐 연간 55,000톤에 달하고 있으며, 그 중 40%는 수출되고 있다. 특히 페라이트 수지자석 및 고무자석 업체로 유일하게 “자화전자”가 있고 각종 오디오/비디오 부품의 CY 요크, 모터용 자석, 그리고 자동차 전장용 모터에 대부분 사용되고 있는 제품을 제조하고 있다. 경질 페라이트 자석의 자기특성은 보자력이 3~3.5 kOe, 잔류자속밀도가 4~4.5 kG 범위이면 최고급에 속하며, 구 “동국합섬”, “쌍용양회” 및 “포항산업과학원(RIST)”이 공동으로 잔류자속밀도 4.3 kG 및 보자력 3.4 kOe의 고급 Sr-ferrite자석의 개발을 통산부 중기거점과제로 수행 완료한 바 있다. 현재는 보자력 4.5 kOe, 잔류자속밀도 4.5 kG 급의 최고급 페라이트 분말을 개발중에 있다.

3.3 稀土類 화합물 자석(Rare earth compound)

· 소결 및 수지자석

원소 주기율표 중에 희토류 원소가 있는데 그 중에서도 가벼운 측의 희토류 성분(Nd, Sm)은 그 자체가 갖고 있는 전자의 분포상태(4f 전자분포)에 기인하여 약자성을 띠는 경향이 있으나, 이들 희토류 원소와 다른 천이원소(Fe 또는 Co)를 화합물로 만들면 상당히 높은 자화력과 보자력을 발휘하는 강자성체로 변한다(4f 전자와 3d 전자의 결합). 이러한 현상은 그 화합물을 갖는 결정구조에 기인한다.

즉, a 축이 길고 c 축이 짧은 육방정계 또는 정방정계의 결정구조가 a 축을 따라 磁化容易성을 띠는 異方性を 보임으로써, 강한 자화능력을 발휘한다. 따라서 희토류 화합물 자석은 가장 최근에 개발된 가장 강력한 자기특성을 보이고 있다(그림 3 참조).

대표적인 것으로 $Nd_2Fe_{14}B$ 계 화합물 또는 Sm_2Co_{17} 및

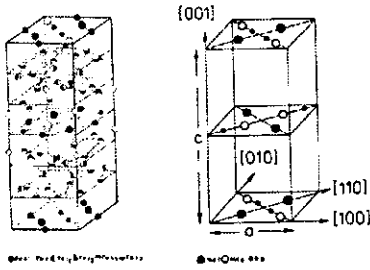


Fig. 5 (a) Schematic representation of the unit cell of $Nd_2Fe_{14}B$ (space group $P4_2/mnm$). The vertical or c direction in the figure is exaggerated to emphasize the packing of the hexagonal iron networks (After Herbst et al. 1984) (b) Simplified unit cell of the $Nd_2Fe_{14}B$ structure showing the difference in symmetry directions for the two sites (f and g) of the Nd atoms

그림 3. 희토류 자성체중 대표적인 $Nd_2Fe_{14}B$ 화합물 영구자석의 결정구조

$SmCo_5$ 계가 사용되고 있다. 그러나 높은 보자력과 높은 자화력 및 큐리온도에도 불구하고 $Sm-Co$ 계 자석은 가격문제로 용도가 특수한 곳에만 제한적으로 사용되고, 최근 값이 비교적 싸고 자기에너지적이 최고 55 MGOe까지 가능한 $Nd-Fe-B$ 계 자석의 용도가 급속히 확장되어 거의 모든 소형모터 및 actuator, 산업설비 등에 사용되고 있다.

따라서 향후에는 경질 페라이트 자석과 희토류계($Nd-Fe-B$ 계) 자석간의 가격경쟁이 영구자석 소재로서의 시장 점유에 가장 큰 관건이 된다. 불행하게도 희토류 자석의 물질특허가 아직은 일본(Sumitomo사)과 미국(Magnequench사)에 귀속되어 국내 시장의 판로는 극히 미미하여 수입에 의존하여 컴퓨터 드라이브(HDD, FDD) 모터용 자석을 충당하고 있으나, 향후 국내시장의 규모도 곧 500~900 억원에 달할 것으로 예측한다. 국내에서는 "포항산업과학원(RIST)", "한국표

준과학원" 및 "한국과학기술원(KIST)" 등에서 활발한 연구 활동과 많은 특허를 보유하고 있어 조만간 국내 생산에도 박차가 가해질 것으로 예상된다.

소결형 희토류 자석은 희토류 자성분말을 미립도로 분쇄하여 특정 온도에서 자장에 의해 분말들을 일방향으로 배향한 다음 그대로 燒成함으로써 이방성이 큰자석을 제조하는 것이 핵심 기술이다. 보자력이 10~20 kOe, 잔류자속밀도가 8~12 kG 범위의 높은 특성을 갖는 자석제조가 가능하며, 각종 오디오/비디오 부품의 모터에 사용될 뿐만 아니라, multimedia용 drive, 의료기기(핵자기공명장치, 자기단상촬영기등)에도 대량 쓰이며, 최근에는 대형 산업설비(separator, chuck, hammer)등에도 용도가 급속히 확장되고 있다. 향후에는 전기자동차용 모터로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

급속냉각 기술에 의해 희토류 자성체 화합물을 제조한 후 일정온도로 분쇄하고 수지바인더와 혼합성형하여 오디오/비디오용 소형 모터의 회전자로 사용되고 있는 희토류 수지자석 분야도 하나의 큰 영역이다. 특히 FDD, HDD 및 CD-ROM의 drive 용 spindle motor는 현재 희토류 수지자석의 가장 큰 용도로 사용되고 있다. 수지자석 제조기술은 프레스 성형과 사출성형(injection molding) 등 두 갈래가 있다. $Nd-Fe-B$ 계 희토류 자석은 값이 비교적 싸고 자기특성이 우수하여 향후 영구자석 소재 중 가장 전망이 좋은 재료이나 큐리온도가 낮고($T_c = 310 \sim 320^\circ C$) 내식성이 약해 실용화를 위한 연구가 계속되고 있다. 반면, $Sm-Co$ 계 자석은 내식성과 큐리온도가 상당히 높아($T_c = 700 \sim 780^\circ C$) 특수용도에는 필히 쓰이는 자석이나 범용으로는 가격 때문에 제한되어 사용된다. 표 4에는 '93 년도를 기준으로 서방세계 $Nd-Fe-B$ 계 소결자석의 생산 현황을 보여준다.

표 4. 1993년도 서방세계 NdFeB 계 소결자석 생산량 추이

(단위: ton/yr)

용용 분 야	Japan		U.S.A		Europe		West world	
	중량	%	중량	%	중량	%	중량	%
acoustic devices	55	4	25	8	20	11	100	5
motors/generators	210	15	75	25	45	25	330	17
voice coil motors	805	56	150	50	75	42	1,030	54
MRI	210	25	*	*	*	*	210	11
multimedia (controller/meters)	70	5	15	5	15	8	100	5
기 타 -electron beam -separators -magnetic chucks -others	80	5	35	12	25	14	140	8
total	1,430	100	300	100	180	100	1,910	100

4. P/M 공정에 의한 경자성재료의 특성과 응용

4.1 희토류(Rare earth magnets)계 소결자석

영구자석재료에서 가장 응용성이 우수한 자성체이다. 원소 주기율표 중 원소번호가 작은 희토류성분 (Nd, Sm)은 그 자체가 갖고 있는 최외각 전자분포(f 전자 orbit)의 vacancy수에 따라 강자성을 띌 수 있는 자화 모멘트를 보유하며, 이들 희토류 원소와 제 2의 천이원소(Fe, Co, Ni)를 합쳐 화합물을 만들면 상당히 높은 자화력(magnetic induction)과 보자력(coercivity)을 발휘한다. 이러한 현상은 그 자성화합물이 갖는 결정구조에 기인한다. 즉, a 축이 짧고 c 축이 긴 육방정계 또는 정방정계의 결정구조가 c 축(장축)을 따라 자화용이성(easy magnetization axis)을 띄는 이방성(magnetic anisotropy)을 보임으로써 강한 자화능력을 발휘한다. 대표적인 희토류 화합물로는 $Nd_2Fe_{14}B$ (tetragonal, $c/a=1.38$) 결정체와 Sm_2Co_{17} (rhombohedral, $c/a=1.45$) 및 $SmCo_5$ (hexagonal, $c/a=0.56$) 결정체가 있다. 그러나 보자력과 고자화력 및 높은 Curie 온도에도 불구하고 Sm-Co계 자성화합물은 가격이 비싸 특수용도에만 제한적으로 사용되며, 최근에는 가격이 저렴하고 최대 자기 에너지적, $(B \cdot H)_{max} = 55$ MGOe까지 가능한 Nd-Fe-B계 자석의 용도가 급속히 확산되고 있다. 이론적으로 Nd-Fe-B계 소결자석은 최대 자기에너지적이 64 MGOe(512 kJ/m^3)으로 계산된다. NdFeB계 소결자석 이면서 원천적으로 강자성인 $Nd_2Fe_{14}B$ 상, 비자성이면서 B함량이 큰 $Nd_{11}Fe_4B_4$ 상, 비자성이면서 Nd함량이 큰 $Nd_{19}Fe$ (Sumitomo사 주장)상으로 구분된다. 따라서 고성능의 소결자석을 제조하기 위해서는 전술한 세 가지 상의 부피분율과 각상의 결정 입도 및 분포, 그리고 결정조직의 조절이 가장 중요하다.

소결자석의 잔류자속밀도(B_r)를 결정하는 요인을 조직학적인 요소로 함수화 하면 아래와 같다.

$$B_r \propto (I_s \cdot \beta) \{(\rho / \rho^0) \cdot (1 - \alpha)\}^{2/3} \cdot f$$

- 여기서 I_s : $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 포화자화력
 β : $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 포화자화력에서 temperature coefficient
 ρ : 소결자석의 밀도
 ρ^0 : 원료합금의 밀도
 α : 비자성상인 $Nd_{11}Fe_4B_4$ 와 Nd-rich상의 부피분율
 f : 강자성상 $Nd_2Fe_{14}B$ 결정립의 배향도

결국 높은 B_r 을 얻기 위해서는 (1) 소결자석의 밀도를 이론치에 접근하도록 하는 방법, (2) 강자성상의 부피분율을 최대화 하는 방법, (3) 강자성상 결정립의 배향도를 극대화 할 수

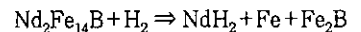
있는 기술을 확립하는 것이다. 최근에 Sumitomo사는 $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 부피 분율을 95%로 올리고, 소결시 자성분말의 입도분포를 거의 3 μm 입도로 유지하면서 소결전에 rubber mold에서 펄스착자(pulse magnetization)를 이용하여 결정립을 배향시킨 후 냉간 정수압(cold isostatic pressing)을 함으로써 배향도(f)를 90~95%까지 취득하여, 최대자기 에너지적, $(B \cdot H)_{max} = 55$ MGOe까지 얻을 수 있는 기술을 확립하였다. 이러한 개발을 성공할 수 있는 또 다른 요인으로는 종래에는 보자력(coercivity)향상을 위해 첨가하던 Dy 혹은 Al 등을 될 수 있는 한 첨가하지 않는 방법을 강구했기 때문이다.

Dy 또는 Al이 첨가되면 $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 포화자화력이 감소하기 때문이다.

4.2 수소환원, 확산반응, 탈수소(Hydrogenation, Decomposition, Desorption, Recombination)반응에 의한 희토류 자성분말 제조기술

전술한 바와 같이 합금 잉곳으로부터 P/M 공정에 의하여 분말을 얻기까지는 많은 노력과 그에 따른 경비가 뒤따르게 된다. 최근에 희토류 자성화합물의 미세분말을 얻기 위해 1 atm. 이상의 H_2 분위기에서 희토류 합금 hydride를 인위적으로 형성시켜 자체균열에 의해 쉽게 분말을 만든 후 다시 탈수소 과정에서 희토류 성분과 천이원소 성분이 재결합 반응을 하는 경제적인 분말제조기술이 개발되어 사용중에 있다. 좋은 예가 Nd-Fe-B계 화합물 자성체이다. 아래 그림 4에 HDDR 과정을 도식화하여 보여준다.

Hydrogenation & Decomposition(at 200~400°C):



Desorption & Recombination(at 500~700°C):

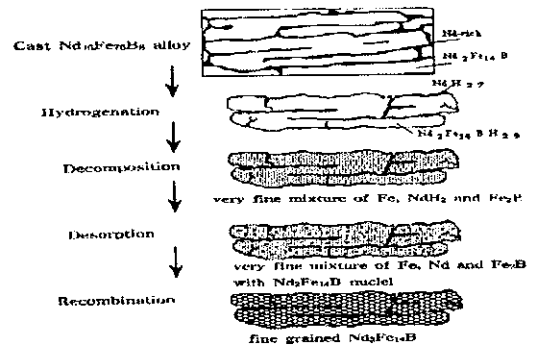
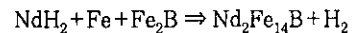


Fig. 4. A schematic representation of the HDDR process.

그림 4. 수소환원, 확산, 탈수소 과정에서 형성되는 $Nd_2Fe_{14}B$ 미세립 성장과정

이와같이 반응과정에서 Zr원소를 doping하면 desorption 중에 형성된 $Nd_2Fe_{14}B$ 핵생성이 특정 결정방향으로 성장하면서 1 μm 이하의 초세립으로 분포하여 이방성 자성분말을 얻을 수 있는 부수적인 효과도 있다. HDDR공법은 특히 급속 냉각 기술로 제조한 ribbon에 적용되어 수지자석(bonded magnet)의 원료로 사용되고 있다.

4.3 수지자석(Plastic bonded magnets)의 제조기술

수지자석이란 자성분말, 플라스틱 바인더 및 첨가제, 그리고 이를 사용한 성형방법과 이방화기술 등이 조합된 P/M 제품의 일종이다. 본드자석의 자기특성에 미치는 요소는 자성분말의 초기특성(자기특성과 분말의 물리, 기계적 특성), 바인더의 특성 및 부피분율, 그리고 성형 중에 취득한 성형밀도 등이 자석의 최종 성능을 좌우한다. 수지자석의 원료로는 전통적인 ferrite(Ba, Sr base) 자석 외에 희토류 자석인 Sm-Co계, Nd-Fe-B계 모두 수지자석으로 제조, 판매되고 있다.

Ferrite계 수지본드자석은 주로 이방성자석으로 사출성형(injection molding)에 의하여 등방성 자석으로 사용되고 있으나, 전술한 HDDR법으로 제조된 이방성 자성분말의 제조로 인해 압축 또는 사출에 의한 이방성자석의 수지자석도 용도가 확장되고 있다. 아래 그림 5에 ferrite 또는 희토류 자성분말(특히 Nd-Fe-B계)을 사용한 수지본드자석의 제조공정을 도식화 하였다.

수지 bonded자석의 결점은 같은 원료를 사용해서도 소결자석에 비해 잔류자속밀도(B_r)와 최대자기에너지적, $(BH)_{max}$

이 낮은 것이다. 물론 제품의 특성상 복잡한 형상이나, 경박단 소형 정밀제품의 제조에서 수지자석의 장점도 있으나, 본고에서는 일단 P/M공정상의 문제만 다루기로 한다. 일반적으로 수지자석의 잔류 자속밀도, $B_r = (4\pi I_s \times \text{배향도}) = (4\pi M_s \times \text{밀도} \times \text{배향도})$ 의 값에 따라 영향을 받는데, 여기서 M_s 는 단위 무게당 자성분말의 포화자화값을 뜻한다. 성형밀도는 소결 제품에 비해 훨씬 낮으므로 자성분말의 충진율을 높이는 것이 핵심기술이다.

따라서 자성분말의 입도 및 분포, 형상 등을 적절히 찾아야 하며, 이를 위해 수지 바인더의 적합한 선택과 바인더의 물리적 특성 또한 중요하다.

4.3.1 사출 수지자석: 자성분말의 밀도와 pellet밀도와의 관계

자성분말의 이론밀도(ρ_m)와 수지바인더의 밀도(ρ_b), 전자의 충진율(f_m) 및 후자의 충진율(f_b)사이에는 pellet이 가공이 없다고 가정할 때, pellet의 이론적밀도(ρ_p)와 아래와 같이 관계된다.

$$1/\rho_p = 1/\rho_b + f_m(1/\rho_m - 1/\rho_b)$$

사용한 자성분말의 이론부피(V_m)와 무게(W_m), 바인더의 무게(W_b)관계를 실험적으로 간단히 나타내는 식은 tap density(ρ_t)를 사용하여 표현할 수 있다. 전술한 ρ_p 와 ρ_t 와의 관계를 이용하면

$$\rho_b = \frac{W_m + W_b}{V_m} = \frac{W_m + W_b}{W_m / \rho_t}$$

위와 같이 자성분말의 tap density를 알면 혼합된 자성분말의 량과 바인더의 량을 가지고 쉽게 pellet의 성형밀도를 추측할 수 있어 공정변수의 결정에 도움이 된다. $W_m/(W_m + W_b) = f_m$ 의 관계식에 따라 pellet에 최대로 충진할 수 있는 임계충진율(f_{cr})을 계산하면 아래와 같이 표시된다.

$$f_{cr} = \frac{1/\rho_p}{1/\rho_t + 1/\rho_b + 1/\rho_m}$$

희토류 수지자석(Nd-Fe-Co-Zr-B)의 경우 위의 관계식에 따라 자성분말 입도 75~150 μm 의 분말을 사용하여 사출성형을 하면 자석의 밀도(ρ), $\rho(\text{cm}^3) = 1.1 + kV_m$ 의 경험식이 얻어지며 이때 $k = 5.3 \sim 5.6$ 의 값을 보인다.

4.3.2 압축 수지자석: 분말의 형상과 자석밀도 관계

압축성형으로 제조되는 수지자석의 경우 공정변수로는 물론 부하된 프레스 압력과 사용한 자성분말의 관계이다. 특히 압축성형 자석에서는 사용된 자성분말의 형상비(aspect ratio)가 실제 자석의 성형밀도에 큰 영향을 미친다. 전술한 각각의

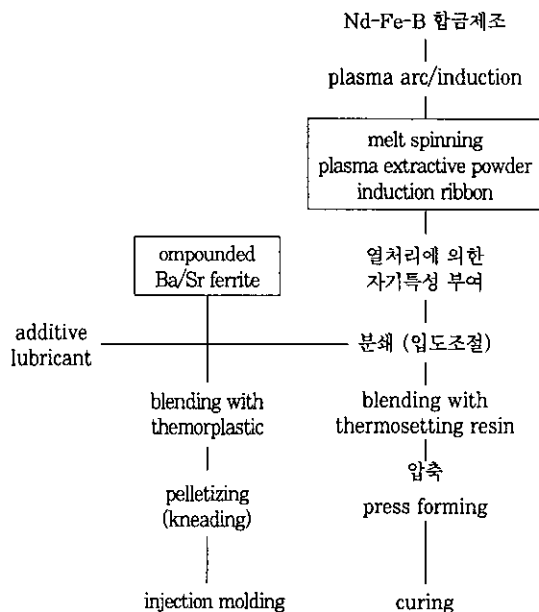


Fig. 5 수지 bonded magnets의 제조공정도

분말과 바인더의 특성을 사용하면, 압축 성형된 자석의 성형 밀도(ρ_p), 자성분말의 tap density(ρ_t), 분말의 이론 밀도(ρ_m)사이에는 아래의 관계식이 성립된다.

$$\text{압축성형 자석의 closed packing rate} = \frac{\rho_p - \rho_t}{\rho_m - \rho_t}$$

압축성형으로 제조되는 압분체의 밀도와 프레스 압축(P)과의 관계는, ρ (g/cm³)=k·Pⁿ(ton/cm²)으로 표현되며, 회토류 자석 Nd-Fe-Co-Zr-B의 경우 아래와 같이 공정변수가 얻어진다.

$$\rho(\text{g/cm}^3) = (5.1 \sim 5.4)P^{0.047-0.065} (\text{ton/cm}^2)$$

5. 磁氣記錄媒體자료

자기기록매체로 사용되는 제품의 형태는 현재 분말형 기록매체를 테이프(tape)나 디스크(disket)에 도포하여 사용하는 기술과 박막형으로 기록매체를 성형하여 부품 또는 제품과 일체형으로 사용하는 두 가지 유형이 있다. 국내에서 기록매체를 일괄을 경우, 주로 도포형 제품을 뜻한다. 자기기록매체 관련산업은 매체의 기록밀도 향상과 같은 운명으로 발전하고 있는데, 기록매체는 매체 표면의 단위면적당 저장될 수 있는 기억용량을 의미한다. 따라서 기록매체의 정보를 저장하는 자성물질의 자기특성이 상당히 중요하다. 특히 정보기록의 원천이 되는 磁區(magnetic domain)의 크기는 직접적으로 정보 저장용량을 결정하며, 정보의 저장(write)과 재생(read)을 명확하고 재빠르게 하기 위한 자기헤드(magnetic head)의 감도를 높이기 위한 자성층의 보자력은 자기헤드와의 상호 보완적인 기능을 발휘해야 하므로 적절한 범위를 보유해야 한다. 따라서 기록매체의 용도와 기능에 따라 정보 저장층의 전자기특성 및 기계적 특성을 선택해야 한다.

5.1 도포형 자기기록매체(Praticle recording media)

지난 20년간 VCR의 보급으로 인해 분말형 자기기록매체의 시장은 엄청난 증가를 보였다. 특히 PC의 대중화로 인하여 디스켓의 폭발적인 수요증가로, γ -Fe₂O₃ 또는 코발트를 함유한 Co- γ -Fe₂O₃ 자성분말은 자기기록매체 재료의 80%이상을 차지하고 있다. γ -Fe₂O₃ (maghemite)는 입방정계 결정구조를 갖는 침상형의 분말형태를 갖고 있는 강자성체 미립자 분말이다. 이들 분말은 초기부터 제조방법이 용이하고 가격이 저렴하며 자기특성이 우수하여(포화자화 모멘트: 73~75 emu/g, 보자력: 350~400 Oe)범용의 카세트 카트리지, 범용의 비디오 테이프 등에 꾸준히 사용되어 왔다. 고급 비디오 테이프의 수요가 발생하면서 보자력을 향상시킨 Co- γ -Fe₂O₃ 분말이 개발되어 보자력이 600~700 Oe 수준까지 올리면서, 녹화 및 재생용 비디오 테이프에 전적으로 사용되고 있다. 또한 PC용 디스켓의 대량보급에 따라 Co- γ -Fe₂O₃ 생산이 주류를 이루며, 최근에는

multimedia의 일반화에 따라 컬러화면의 선명성과 노이즈 제거에 필요한 CrO₂ 또는 Fe 미립 분말이 많이 사용되고 있다. 이들 금속형 미립자 분말의 자기특성은 보자력이 800~1,200 Oe로 월등히 향상되었고, 포화자화력도 1,000~3,000 Gauss정도로 높아 8 mm 비디오 테이프, VSH/S-VHS, HDTV 용도로 사용되고 있다. 이러한 이유는 결국 자성체분말의 입도가 미세하여 기록밀도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 자성층 분말의 자기배향성을 향상시킬 수 있기 때문이다. 전술한 모든 자기기록매체의 자기배향성(자화가 용이한 자기이방성을 일컫음)은 자성층의 면방향으로 누워 있다. 그러므로 아직도 기록밀도의 효율은 발전의 여지를 남기고 있음을 암시한다. 즉, 자성층의 자기배향을 면에 수직으로 형성시킬 수 있다면, 단위면적 당 정보기록 능력은 향상 될 수 있다.

5.2 중착형 기록매체(tape)

주로 디지털 VCR 또는 DAT(digital audio tape)용도로 개발된 기록매체로서, Co-Ni 합금자성체를 高眞空하에서 가열, 용융하여 테이프표면에 증착시키는 기술이다. 도포형과는 달리 함유물이 없으므로 순도가 높아 자화모멘트가 향상되고, 표면 조도가 평탄하고 자성층 두께가 얇아 도포 逆磁界의 생성을 억제할 수 있는 효과도 있다. 그러나 자성막의 산화성이 심해 보호막의 육성 등 내식기술이 필요하고, 생산성이 결여되어 특수 용도로만 사용되고 있다. 이러한 중착형 자성층박막의 성형기술이 후술한 PC 하드 디스켓, CD 디스켓 또는 광자기 디스켓의 제조기술에 기반이 되어 왔다.

5.3 박막형 기록매체(hard disk, CD & MO disk)

PC가 민생용 기기로서 급격히 보급됨에 따라 보조기억 장치인 디스크 드라이브도 소형화, 고용량화 및 고신뢰성 제품으로 되고 있다. 근본적인 관건은 정보기록의 대용량이 실현되어야 하므로 현재는 하드디스크의 기억용량이 2~4 Giga bit(GB) 이상이 보편적이다. 이러한 범위의 정보기록은 디스켓 자성층을 다층 박막으로 성장할 수 있는 기술이 완성됨으로써 가능하였다. 현재 가장 많이 쓰이고 있는 하드디스크의 자성박막은 Cr층(2000~3000 Å 두께)과 CoNiCr층(500~700 Å 두께)을 겹쳐 성장시킨 구조를 갖는 epitaxial 박막이다. 필요한 경우 두 층을 반복적으로 쌓는 기술도 있다. 이들 자성층의 특성은 고보자력을 보이고 내식성이 훌륭한 점이다. 현재 개발되고 있는 신 조성의 자성 박막으로 CoCrPt 박막의 사용가능성이 검토되고 있으며 FeHfCN 박막도 일본 및 국내 KIST 등에서 연구되고 있다.

광자기 기록매체의 박막연구는 초기 Bell Lab.에서 MnBi 다결정 박막을 시작으로 하여 현재는 회토류 원소-천이원소 합금계의 비정질 박막을 주로하여 많은 후보물질이 개발되고 있다. GdCo, TbFe, GdTbFe 및 GdDyFeCo 등 실용화 되고 있는 조성도 몇 가지에 이른다. 광자기 기록매체는 기존의 정보기록매체

가 정보의 저장만 할 수 있는 것과는 달리 정보를 기록, 소거 및 재생을 할 수 있는 매체이다. 광자기 기록매체는 기판위에 자성 박막의 기록층과 보호층이 입혀진 구조로 되어 있다. 기록층은 정보의 기록, 보호, 재생 및 소거를 담당하며 개발의 핵심대상이다. 보호층은 기록층의 산화방지를 목표로 하며 SiN_x , AlN_x 등의 조성이 사용되고 있다. 광자기 기록층에서의 자화방향은 표면과 수직인 磁化容易軸을 갖고 있어 광자기 기록에 의한 bit(정보 기록단위)의 자화방향도 디스크 표면의 상하방향이 된다. 광자기 기록층의 보자력은 일반적 기록매체에 비해 5~10배 높기 때문에 상온에서 자화 反轉을 하기에는 매우 어렵다. 그러나 온도가 올라가면 보자력이 감소하는 원리를 이용하여 기록층의 온도를 Curie 온도까지 올려 기록층의 자화방향을 바꿔주는 기술을 응용한다. 온도가열은 레이저를 이용하게 되며 자화방향이 바뀌는 영역은 레이저 빔(laser beam)의 직경과 동일하다. 따라서 광자기 기록매체의 정보기록 밀도는 레이저빔의 크기에 반비례한다. 현재 레이저빔의 직경은 1 μm 이하로 단축 할 수 있다.

국내 자기테잎 제조업체중 SKC와 코요롱은 base film 으로부터 자기테잎까지 생산하고 있고 "새한미디어"와 "금성마그네텍스" 등은 테잎만 생산하고 있다. 국내 자기테잎 시장의 점유율을 볼 때 SKC가 40% 내외의 "새한미디어"가 35%, "금성마그네텍스"는 15%, 그리고 코요롱, "동양폴리에스터" 등이 나머지를 차지한다. FDD의 생산도 SKC, "금성마그네텍스", "한국3M" 및 "새한미디어" 등이 생산하고 있으며 도포형 기록매체의 원료분말인 $\text{Co-Fe}_2\text{O}_3$ 및 CrO_2/Fe 분말들은 "새한미디어"가 소요량의 절반 정도를 자체생산 하는 것을 제외하고는 전량 일본으로부터 수입에 의존한다.

6. 결 론

자성재료 및 부품이 핵심소재가 되고 있는 전자기 응용제품은 국내수출품의 주종을 이루고 있는 반면에 그에 소요되는 고급 자성소재는 계속 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 이유는 몇몇 범용소재, 예를 들어 규소강판, 경질 페라이트 분말, 일부 $\text{r-Fe}_2\text{O}_3$ 분말 등을 제외하고는 출발원료부터 국내 생산이 없기 때문이다. 물론 셋업업체로부터 확고한 수요를 보장받을 수 없는 입장이라 소재 또는 부품 납품업체의 설비투자 및 경상투자가 어렵다고 할 수는 있으나 근본적으로 현재 제조되고 있는 거의 모든 제품의 설계도가 일본, 미국의 설계를 그대로 답습함으로써 자기부품의 辭讓을 변경할 수 없는 입장으로 자성재료 또한 변경이 불가능하게 된다. 향후 수요가 급증할 것으로 예상되는 희토류 자석분야 Sumitomo 및 Magnequench사의 특허만료가 3년 정도 남아 있고, 국내 연구소(RIST) 또는 업계에서도 많은 독자적인 특허가 보유하고 있어 지금부터 착수한다 해도 cross licence를 결정할 경우 문제는 없으리라 판단된다. 연자성 페라이트 분말의 경우, "포항제철"의 냉연산세 설비투자가 페라이트 회수를

주목적으로 하지 않기 때문에 최고급 연도 국내 소요업체가 컨소시엄을 형성해 신규공정을 신설하여 고급 페라이트의 생산을 추구하지 않으면 결국 국내 고급 연철페라이트 수급량의 절반은 계속 수입에 의존해야 한다. 멀티미디어 관련제품이 활성화되면서 drive에 쓰이는 희토류 영구자석 또는 고급 페라이트 자석의 특성향상이 계속 요구되고 있으며, 더불어 기록매체의 소요량도 급증하고 있다. 그러나 국내에서 가장 취약한 기술이 기록매체 중 디스크 관련기술과 재생헤드 산업이다. 국내 수급량은 해외 시장에 비해 열악하기 때문에 수출 위주의 제품을 생산하기 위해서는 선진국 특허기술을 따라야 하는 원천적인 취약점을 보이고 있다. 대학에서의 磁氣學 및 磁性材料 관련 교육이 활성화되어 인력수급에도 전환이 있어야 하며 기업으로부터 연구소에 많은 위탁연구를 의뢰함으로써 고기술의 보수가 요구되는 시점이다.

참 고 문 헌

- [1] 양충진, 한국자기학회지, vol. 5(6), (1995)975.
- [2] 양충진, 한국자기학회지, vol. 6(2), (1996)130.
- [3] 김희중, 한국자기학회지, vol. 5(2), (1995)140.
- [4] 민병일, 한국자기학회지, vol. 5(4), (1995)309.
- [5] 양충진, 한국분말야금학회지, vol. 4(1), (1997)75
- [6] I.R. Harris, Proceeding of The 12th Inter. Workshop on Rare Earth Magnets & Their Applications, Canberra, Australia, July 12~15, (1992), pp. 347~368.
- [7] C.J. Yang & S.D. Choi, Powder Technology, vol. 77(3), (1993)285.

저 자 약 력

성명 : 양 충 진

❖학 력

1971. 3~1975. 2 한양대학교 금속공학과
(금속공학, B.A.)
1980. 8~1982. 6 Rensselaer Polytechnic Institute, Troy
(Materials Science, M.S.)
1982. 8~1985. 6 Polytechnic University of New York
(Materials Sci. & Eng., Ph.D.)
1985. 7~1986. 10 Polytechnic University of New York
(Post-doc)

❖경 력

- 1997 ~현재 포항산업과학연구원 연구팀 부장
- 1996 ~현재 포항공대 재료금속공학과 겸직교수