

비정질 연자성재료의 개발현황 및 전망



박 원 옥 (제조야금실장)

- '74-'78 서울대학교 금속공학과 학사
- '79-'81 서울대학교 대학원 금속공학 석사
- '81-'85 서울대학교 대학원 금속공학 박사
- '89-'90 The University of Sheffield 연구원
- '85-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서 론

급냉응고법으로 제조되는 비정질재료는 기존에 사용되던 결정질재료에 비해 높은 강도와 우수한 내마모성 등 기계적성질이 뛰어나는 뿐만 아니라 비정질재료 고유의 특이한 전자기적 성질로 인해 고기능 전자기부품용 소재로서 관심의 대상이 되어 왔다.

특히, 비정질 연자성재료는 낮은 철손과 보자력, 높은 투자율 등의 특성을 가지고 있기 때문에 1970년대부터 종래의 대표적 연자성재료인 퍼멀로이, 센더스트, 페라이트 등을 대체하는 새로운 실용 재료로 등장하여 변압기나 모터의 코어재료, 자기헤드 및 기록재료에 사용됨으로써 신소재로서의 진가를 인정받고 있다.

연자성특성을 나타내는 비정질합금의 조성은 천이금속(Fe, Co, Ni)을 기본으로 반금속인 Si나 B 등을 첨가한 형태로서 Co 및 Fe계가 주류를 이루고 있다. Fe계 비정질연자성재료는 높은 포화자속밀도와 저자기손실로 인해 일반적으로 변압기의 자심재료로 이용되며, Co계의 비정질은 용도에 따라 급냉법 및 스퍼터링법에 의해 제조되어 저자왜나 고투자율이 요구되는 전자기부품에 활용된다.

세계자성재료시장의 약 45%를 차지하는 연자성재료(규소강판제외)는 '70년대말 비정질변압기의 개발로 인해 철손이 1/3~1/5로 줄어든다는 사실이 발표된 이래, 비정질연자성재료가 기존의 페라이트나 퍼멀로이등의 연자성재료를 대체해 나가면서 생산량이 매년 10%이상씩 증가하고 있다. 전량수입에 의존하는 국내 비정질재료에 대한 수요는 현재는 고가인 관계로 사용이 제한

되고 있으나 전자기기의 고급화 추세에 따라 3~5년 후에는 국내수요가 폭발적으로 늘어날 것으로 각계에서 예상하고 있다. 이들 수요는 주로 실용화가 쉬운 스위칭전원용(SMPS: Switched-Mode Power Supply) 부품과 자기헤드(magnetic head) 분야일 것으로 추측되며, 이들 부분에 대한 수요 증가는 비정질연자성재료 및 부품의 국산화요구 증대로 연결될 것으로 전망됨에 따라 관련 연구기관의 지대한 관심과 기업화노력이 절실히 요구되는 단계에 와 있는 것으로 분석된다.

2. 국내외 기술현황

2.1. 국외

1970년대말부터 Allied Signal사와 히다찌사에 의해 확립된 멜트 스피닝(melt spinning)법은 용융상태의 금속을 급냉용고시켜 비정질상태의 새로운 재료를 만드는데 주로 사용된 신기술로서 특히 연자성재료 및 부품개발에 필요한 핵심기술로 인정되고 있다. 이 기술로 기존재료에 확실한 우위를 확보한 부분은 전원장치용 코어인 것으로 보이며, 특히 이 부분의 재료에는 코발트계 및 철계합금이 많이 사용되어 왔다. 코발트계 비정질합금은 소형 연자성코어나 자기헤드 등 주로 정밀소형부품에 사용되었으며, 철계 비정질합금은 소형보다는 주상변압기 등 대형 전자기부품소재로 사용되어 왔는데, 이러한 제품은 Allied Signal사의 "METGLAS"가 대표적인 상표로 현재 대량생산 중에 있다.

Allied Signal사는 '74년경부터 강도제의 연구를 시작해서 '75년에 자기실드재를 발표하고 '78년부터 EPRI의 자금원조에 의해 변압기용 철심의 개발을 시작했다. '87년에는 20cm폭의 개발에 성공하고 현재 약 200개의 비정질합금관력 특허를 가지고 있으며, Parsippany(N.J.)의 공장에 폭 20cm, 생산규모 15,000t/년의 단롤설비를 완성하고 있다. 변압기철심외에 Allied Signal사가 실용화하고 있는 것은 GE사의 연료분사엔진용 연료계량장치, 3M사의 도난방지용 자기 strip, Ferix복사기의 연자헤드, Brazcor Honeycomb Products사의 항공기부품

등인데 주력생산분야는 비정질 연자성재료 및 부품이라 하겠다. 한편, 일본에서는 '78~'81년의 기간동안 신기술개발사업단이 자성재료개발을 위해 비정질합금의 제조기술을 기업체에 개발위탁하고(12.8억엔), '81년부터는 전력변압기 철심용 비정질합금의 제조기술개발연구를 신일본제철에 위탁했다(16.9억엔).

표1은 세계의 비정질합금개발기업과 주요상품 및 분야를 나타낸 것으로서 일본의 기업은 비정질합금의 주요개발목표를 미국처럼 배전용변압기가 아닌 전자부품에 두고 있다. 그 하나가 스위칭전원으로서 1982년 이후 히다찌금속, TDK 등이 생산하고 있으며 앞으로도 연간 15%이상의 신장이 기대된다.

2.2. 국내

비정질자성재료에 관한 합금설계 및 특성 분석연구는 그동안 한국과학기술연구원(KIST)를 중심으로 (Co, Fe)-Si-B계가 주로 연구되어 왔는데, 현재에는 충남대와 한양대에서도 Co계와 Fe계 비정질합금에 대한 기초연구를 활발히 수행하고 있다. 또한 전력변압기의 실용화분야에는 산업과학기술연구소(RIST), 한국전기연구소(KERI), 한전과 효성중공업 등에서 공동 또는 개별형태로 참여하고 있으며, 소형 연자성코아 등의 산업화 분야에는 삼성기술원, 금성전선, 한국기계연구소(KIMM) 등에서 관심을 갖고 연구를 추진 중에 있는데 아직 생산 및 제품화공정을 완전히 확립하지 못하고 있는 상태이다.

3. 제조법의 특징과 유의점

비정질합금을 제조하는 방법에는 용융상태의 금속을 열전도도가 높은 매체를 통하여 급냉시키는 액체급냉법을 비롯하여 진공증착법, 스퍼터링법, 화학기상반응법, 고상반응법 등이 있는데(표 2), 여기서는 일반적으로 많이 사용되고 대량생산이 가능한 금속액체급냉법에 대해서만 설명하기로 한다.

액체급냉법은 모두 용융된 금속을 노즐을 통

표 1) 세계의 비정질 자성재료 개발 현황

| 企 業 名 | 開發테마, 商品化 | 製造方法 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 美國 Allied Signal Inc. | 電力用 變壓器에의 實用化 추진, 年間 數萬ton의 製造設備가 있고(稼動率은 낮다), GE, WH社 등에서 變壓器의 野外實驗 實施 | 단롤법(Planar Flow Casting법) |
| 西獨 Vaccumschmelze | Electronics用 部品주력 | |
| 日本 非晶質 金屬 | 非晶質리본 | 단롤법 |
| 日立金屬 | 非晶質리본 非晶質 권철심 switching 電源 | 단롤법 |
| 동북금속공업 | 非晶質 리본 非晶質 권철심 | 단롤법 |
| 新日本 製鐵 | 電力用 變壓器 코아(研究中) | 단롤법 |
| 도시바 | 포화 reactor用 코아 switching電源 spike killer choke coil 8mm VTR用 磁氣헤드(研究中) 오디오 磁氣헤드(研究中) 온도센서(研究中) | 단롤법 |
| TDK | 오디오 磁氣헤드 | 단롤법 |
| 九州松下電器 | 오디오 磁氣헤드 오디오용 乘·降壓 變壓器 컴퓨터用 磁氣헤드(研究中) | 단롤법 |
| Sony | 오디오 磁氣헤드 오디오用 乘壓變壓器 카트리지 VTR用 磁氣헤드(研究中) 垂直 磁氣記錄用 헤드(研究中) 좌표 읽음裝置(研究中) | 단롤법 三重 roll法 (合金의 製造: Sony magnet production) |
| 유니타카 | 다이아코드(研究中), tex(發賣) 자기필터(미크론필터) (研究中) | 名稱없음 (wire 形態) |
| 미쓰비시電氣 | 電力用 變壓器(研究中) | 新日本製鐵에서 購入 |
| 가와사키製鐵 | 電力用 變壓器 코아(研究中) | |
| RIKEN | 분체 非晶質 合金(일체성형법) | 쌍롤법 (cavitation法) |
| 日本電工 | 非晶質用 ferroalloy 製造 非晶質 리본 計劃中 | |

표 2) 비정질합금의 제조방법

| | 方 法 | 製 造 形 態 | |
|------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 金 屬 가 스 | 眞空蒸着法 | 極薄膜(10~10 ² A) | Fe, Ni, Mo, W,..... |
| | 스퍼터링法: 低速 | 薄 膜(10 ² ~10 ³ A) | 金屬-金屬系 |
| | 高速(~1 μ m/分) | 厚 膜(~數 mm) | 金屬-半金屬系 |
| | 化學氣相反應法 | 厚 膜(~數 mm) | SiC, SiB, SiN |
| 金 屬 이 온 | 鍍金法: 電解法 | 厚 膜(~數 mm) | Ni-P, Co-P, Fe-P |
| | 無電解法 | | Ni-B, Co-W, Fe-W |
| 金 屬 液 體 | 液體急冷法 | 薄片 } 數百 mg 薄片 } 薄板(~100 mm 幅) 薄板(~ 10 mm 幅) 薄板(~ 5 mm 幅) 粉末 粉末 粉末 細線 細線 細線 | 金屬-半金屬系 金屬-金屬系 金屬-稀土類系 |
| | 건(Gun)法 | | |
| | 투피스톤(Two Piston)法 | | |
| | 單롤(Single Roll)法 | | |
| | 雙롤(Twin Roll)法 | | |
| | 遠心法 | | |
| | 스프레이法 | | |
| | 回轉液中 분출법 | | |
| | 스파크法 | | |
| | 水流中 紡絲法 | | |
| 回轉液中 紡絲法 | | | |
| | 글라스피복 紡絲法 | | |

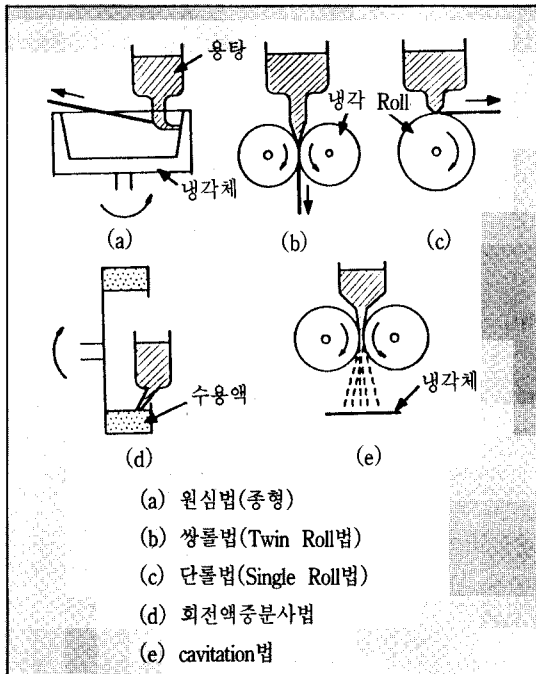


그림 1) 주된 비정질금속제조법의 원리도

하여 회전하는 냉각용 롤 또는 흐르는 액체 중에 분출시키는 방법으로서, 리본, 세션, 분말의 세가지 형태로 비정질합금의 제조가 가능한데 그림1에는 제조법의 원리도를 나타내었다. 그림1의 (a), (b), (c)는 리본을, (d)는 세션을, (e)는 분말을 양산할 수 있는 장치로서 제조형상별 액체급냉법을 설명하면 다음과 같다.

3.1. 리본의 제조

균일형상의 연속리본을 제조하기 위해 고안된 방법으로서, 원리적으로 대별하여 그림 1(a)(b)(c)에 나타난 원심법, 쌍롤법, 단롤법이 있는데, 합금을 전기로 또는 고주파로에서 용해하여 그 용융합금을 가스압으로 crucible의 작은 구멍을 통하여 분사시켜 회전하는 냉각용 롤(동 또는 강재)의 표면에 접촉시킴으로써 급냉용고리본을 얻는 방법이다. 이 방식으로 얻어지는 냉각속도는 동일 합금의 경우 주로 냉각용 회전체의 재질과 용체의

표 3) Ribbon의 연속제조방식의 장점 및 단점

| 제조방법 | 장점 | 단점 |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 원심법 | <ul style="list-style-type: none"> ·분출후 회전체에 부착된 상태로되기 때문에 충분히 권취가 용이하다. ·공기가 말려드는 현상이 적다. | <ul style="list-style-type: none"> ·ribbon의 양면에 요철이 발생하여 면조도가 크다. ·광폭에는 제한이 있다. ·기계의 구조가 복잡하다. |
| 쌍Roll법 | <ul style="list-style-type: none"> ·양면으로부터 가압냉각하기 때문에 면정도, 판두께 정도가 양호한 ribbon이 얻어진다. | <ul style="list-style-type: none"> ·roll과 용탕합금의 접촉부분이 좁기 때문에 긴 ribbon이 얻어지기 어렵다. ·가공에 의해 성능이 나빠다. ·roll의 소모가 격심하다. ·광폭재가 얻어질 수 없다. ·기계의 기본구조, 운전조작이 복잡하여 대량생산에 부적합하다. |
| 단Roll법 | <ul style="list-style-type: none"> ·roll직경과 회전수를 빠르게 하면 양산성이 높게 되어 대량생산에 적합하다. ·기계의 기본구조와 운전 조작이 가장간단하여 현재 폭 10cm, 길이 350m의 ribbon이 대량생산 중이다. | <ul style="list-style-type: none"> ·ribbon의 양면에 요철이 발생하여 면조도가 크게 된다. ·철심의 설계시에 점적울이 저하된다. |

두께에 의존되며, 용체의 두께는 분출량과 회전체의 원주속도에 의존된다. 각 방식의 장점 및 단점을 정리한 것이 표3이다. 이들 방법 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 방식은 단롤법이며 미국 Allied Signal사와 일본 Hitachi 금속에서도 단롤법의 일종인 Planar Flow Casting법으로 비정질리본을 대량생산하고 있다.

3.2. 세선의 제조

급냉용고법으로 등근 단면의 세선을 제조하기 위해서는 냉각률 등의 고체 substrate의 사용대신 냉각능이 높은 액체를 매체로 사용하는 방법이 주로 쓰이고 있다. 원리적으로는 유동하는 수용액 중에 노즐의 원형 orifice를 통하여 용융금속을 분출시키는 방법으로서, 그림 1(d)에 나타난 것과 같이 회전하는 드럼의 내벽에 원심력에 의해 액체를 형성시켜 이 회전하는 액층에 용융금속을

분사함으로써 비정질 세선을 얻게 된다. 이 방법에 의해 얻어지는 냉각속도는 최대 10°K/S로 고체의 substrate를 쓰는 경우보다 냉각속도가 낮지만 세선의 경우에는 외주전면으로부터 균일하게 냉각되기 때문에 0.2mm의 직경에서도 10°K/S정도의 냉각속도가 얻어진다. 이 방식의 중요한 제어인 자에는 nozzle orifice의 직경, 분사압력, 드럼의 회전수 외에 액체면과 nozzle orifice와의 각도(60°전후가 양호), 액의 종류와 온도, 회전액체의 유동상태 등이 있다.

3.3. 분말의 제조

금속용탕을 입자상으로 끊는 방법은 많이 알려져 있지만 비정질을 얻기 위해서는 더욱 냉각속도를 크게 할 필요가 있다. 대별하면 열전도도가 큰 불활성가스 또는 액체를 이용하여 용탕의 stream을 분무(atomization) 시키는 방법과 회전날개

표 4) 비정질구조의 특징과 자기적성질의 상관관계

| 구조의 특징 | 자기적성질 |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 원자의 불규칙배열 (등방성) | 결정자기이방성의 소실, 낮은 자기이력손실과 와전류손실 |
| 구조결합의 균질성 | 낮은 보자력, 낮은 이력손실 |
| 구조의 단범위 규칙성 (화학적 규칙의 변화) | 포화자애와 큐리온도의 열처리효과 |
| 유도가능한 단범위규칙성 (화학적단범위 규칙의 유도) | 유도자기 이방성의 생성 |

등에 의해 기계적으로 절단하는 방식이 있는데, 이들 방식은 기본적으로 입자가 작을수록 냉각이 용이하기 때문에 모두 비정질분말제조에 사용 가능하다. 그러나, 비정질합금의 응용면에서 생각하면, 분체의 표면산화방지 및 미립화라는 점에서 후자의 기계적 절단방식이 비정질분말제조에 있어 더 유리하다. 그림 1(e)는 cavitation 현상을 이용하여 용탕금속을 비산시키는 방법의 원리도로서 일종의 기계적 절단방식이다. 특징은 두개의 내화물 또는 금속 roll사이의 작은 간격에 용탕금속을 분출시키면 용탕에 가한 압력이 급격히 떨어져 용탕이 비산하는 현상을 이용한 것으로서, 입자 치수의 변화가 작고 입자표면의 오염이 적은 장점이 있으며, 입자의 직경은 용융금속의 분출량, roll회전속도, roll간격에 의존하여 변화하게 된다. 이 방법 이외에 비정질분말을 제조하는 방법에는 제조된 리본 또는 flake 상태의 비정질금속을 파쇄(pulverization)시키는 것이 대표적이며, 대량생산할 경우에는 생산원가를 기존공정수준으로 낮출 수 있을 것으로 예측된다.

4. 비정질재료의 종류 및 특성

액체급냉법에 의해서 제조되는 비정질자성합금은 강자성금속(Fe, Co, Ni)을 주성분으로 해서 반금속(metalloid)과의 결합형태이거나 강자성 금속과 IVA족 원소(Ti, Zr, Hf)와의 결합합금이다. 이 중에서 실용화되고 있는 것은 (Fe, Co, Ni)-Si-B계가 주류이며, Fe, Co, Ni의 함유량을 조정함에 따라 여러가지 다양한 자성특성을 얻을

수 있다.

비정질금속은 원자구조상 원자의 배열이 무질서하여 전단변형면 또는 벽개면이 없고 상온에서 높은 강도와 경도를 나타내며 인성이 높을 뿐만 아니라, 원자의 불규칙배열로 인하여 전기저항이 크며, 우수한 연자성특성을 가진다. 비정질재료가 우수한 연자성특성을 보이는 이유는 자기모멘트(magnetic moment)가 작고, 재료내에 입계(grain boundary)가 없으며, 등방성인 동시에 조성이 균일하므로 자구입계(magnetic domain boundary)의 이동이 쉽기 때문이다. 다만, 급냉용고시 재료내부에 열응력과 조성의 fluctuation이 발생되므로 더 나은 자성특성을 얻기 위해서는 열처리 및 자장열처리가 필요하다. 표4에는 비정질구조의 특징과 자기적 성질과의 관련성을 간단히 나타내었다.

한편, 비정질재료는 자성이 조성에 대해서 연속적으로 변화하는 것이 특징으로 용도에 따라서 세부적 성분의 선정이 가능한 것도 성분설계상 유리한 점이며, 이와같이 우수한 자기적특성 때문에 현재 가장 많이 응용되고 있는 분야가 전자재료 및 부품분야인데 그 종류에 대해 분류하면 다음과 같다.

4.1. 고투자율-저보자력재료

주성분은 Co-Fe-Si-B 합금이 주류로서, Nb, Mo, Mn 등을 소량 첨가한 재료가 실용화되고 있는데, 퍼멀로이에 비해 높은 주파수(500KHz~1MHz)까지 사용 가능하고, 페라이트에 비해서 포화자화가

높으므로 코어를 소형화시킬 수 있으며, 샌더스트에 비해 가볍고 연자성이 우수한 장점이 있다.

4.2. 고평화자속밀도-저철손재료

현재까지 알려진 이 합금계의 대표적인 조성은 Fe-B-Si, Fe-B-C 및 Fe-B-Si-C인데 이중 Fe-B-Si계는 가장 높은 비정질형성능과 열적안정성 및 낮은 철손을, Fe-B-C계는 큰 포화자화를 나타낸다. Fe-B-Si-C계는 비교적 높은 포화자화와 열적 안정성 그리고 낮은 철손을 나타낸다.

4.3. 고자왜재료

비정질 고자왜재료는 응력-자기 열변환효율이 높고, 선형성이 좋으며, 강인하므로 거의 탄성체에 가까운 특성을 가지며, 결정입계가 없기 때문에 탄성파의 감소가 적다는 등의 특징이 있다.

5. 응용분야 및 제품

5.1. 변압기 철심재료

변압기용 철심재료로 지금까지 주로 사용되고 있는 재료는 고급방향성규소강판으로서, 포화자속 밀도가 20KG 정도로 비정질재료의 16~17KG보다 약간 높으나 철손이 몇배나 높으므로 기존재료를 비정질재료로 대체하려는 연구가 세계 각국에서 활발히 진행되고 있다. 현재 500KVA 용량의 철심까지 비정질재료로 제작되어 그 특성이 평가되고 있는데, 요구되는 특성으로는 ①소형화를 위한 고자속밀도, ②고효율을 위한 저철손과 작은 excitation전류 ③소음을 줄이기 위한 저자왜, ④시간 및 온도에 따른 재료의 수명을 늘리기 위한 작은 경시변화, ⑤기억화를 위한 고점적률과 낮은 가격 등이 중요하다. 사진1은 Allied Signal사의 비정질리본을 사용하여 GE에서 제작한 변압기로서 (a)는 비정질리본을 감은 core이며 (b)는 최종제품을 나타낸 것이다.

또한 상품화된 METGLAS계 비정질합금을 사용하여 제작한 변압기의 성능을 비교한 것이 표

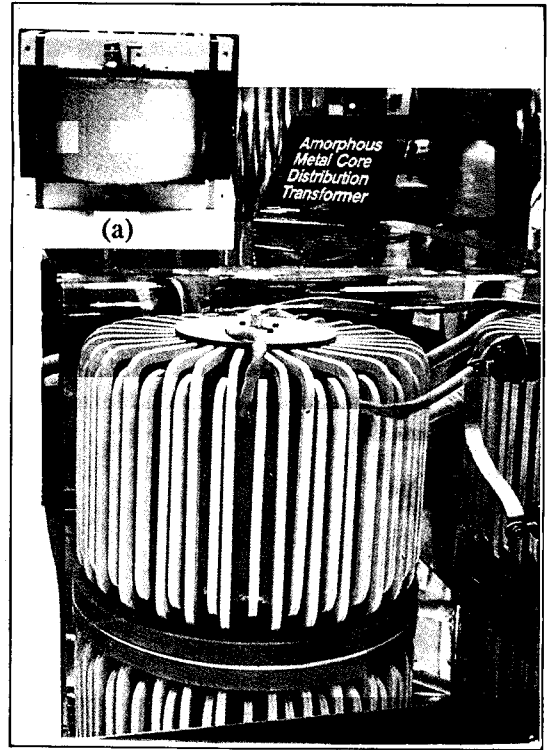


사진 1) GE사에서 제작한 비정질 변압기

(a) 변압기 core

(b) 변압기 본체의 외관

5로서, 비정질 변압기는 규소강판을 사용한 변압기에 비해 중량은 약 20% 증가하나, 철손은 약 1/3~1/8로 현저히 감소하고, 동손은 비슷하며, 소음도 거의 비슷한 것으로 나타나 있다.

5.2. 스위칭전원용 자심재료

스위칭전원은 물론 각종 FA 및 OA기기 등의 분야에서는 해마다 경량 및 소형화가 급속히 진행되고 있는데, 제품의 소형화를 위해서는 스위칭주파수를 고주파화해야 하며, 현재 100~200KHz 이상의 사용범위에서 실용화되고 있다. 지금까지 사용되는 재료는 50% Ni 퍼말로이가 주종으로서 그 한계는 약 50 KHz정도이었으나, 자심손실이 작은 비정질자심이 개발됨에 따라 500KHz~1 MHz까지의 고주파화가 가능하게 되었다. 한편, 비정질 가포화자심은 펄스파워레이저의 자심재료

표 5) 비정질변압기의 성능비교표

| 容 量 (KVA) | 重 量 (kg), [%] | 材 料(at. %) | 鐵 損 (W), [%] | 銅 損 (W), [%] | 騷 音 (Phone)[%] | 比 較 珪素鋼板 | 製作者 |
|--------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------|---------------|
| 10 | 115[120] | Metglas 2605 SC (Fe ₈₁ B _{13.5} Si _{3.5} C ₂) | 11.8[30] | 170[100] | 36.5[106] | G-8H | 大阪變壓氣 |
| 10 | 115 | Metglas 2605 S2 (Fe ₇₈ B ₁₃ Si ₉) | 8.6[22] | 173[102] | 35.3[102] | G-8H | 〃 |
| 15 | | Metglas 2605 SC | 14 [13] | 166[79] | | | Allied signal |
| 25 | | Metglas 2605 SC | 28 [33] | | 40 [87] | M-4 | GE |
| 30 | 260 | Metglas 2605 SC | 30 [32] | 390 | 38.5 | | 大阪變壓器 |

[]내는 珪素鋼鐵心과의 比較%

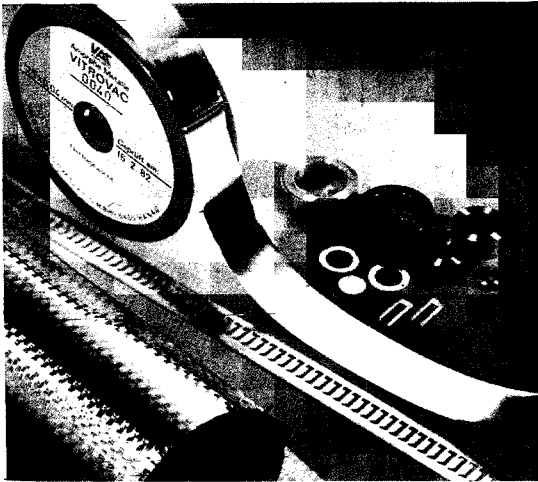


사진 2) Vacuumschmelze사에서 상품화한 비정질자성리본과 toroidal magnetic core

로도 사용되며, 노이즈를 발생하는 다이오드의 회복특성을 개선하기 위한 Spike Killer로도 많이 쓰인다. 사진 2는 독일의 Vacuumschmelze사의 비정질리본과 소형자심코어를 나타낸 것으로서, 스위칭전원에는 toroidal 형태의 winding core가 주로 사용되고 있다.

5.3. 센서에의 응용

비정질재료의 고투자율을 이용하는 자기헤드제조와 고자왜특성을 이용하는 각종 센서개발도 이미 실용화되어 대량생산 중에 있다. 지금까지는

자기헤드(magnetic head)재료로서 퍼말로이, 페라이트 및 센터스트 등이 이용되어 왔으나 녹음기술의 고성능화를 요구하게 됨에 따라 비정질합금이 각광을 받기 시작하였는데, 내식성이 센터스트보다 뛰어나며, 내마모성이 퍼말로이의 10배 정도이며, 교류 bias 전류가 적고, 섭동파특성이 우수한 장점이 있다. 또한 비정질재료는 고투자율·저손실로 자화의 직선성이 우수하므로 자기식 전류센서 등으로 실용화되고 있으며, 이외에 고투자율 및 고자왜율을 이용한 도난방지용 센서, 유압센서, 토크센서 등으로도 활용되고 있다.

6. 맺음말

비정질자성재료는 산업계의 에너지절약형 고성능기기 개발노력과 전자기부품의 소형 및 경량화, 측정기기의 정밀화 추세에 힘입어 그 수요와 용도가 지속적으로 증대될 전망이다. 그러나, 국내의 경우에는 기업화를 위한 체계적 기술축적이 아직 미흡한 상태로서, 이를 개선하기 위해서는 산·학·연 공동의 종합적 기술개발에 의한 기업화 추진이 국산화 요구에 부응할 수 있는 효율적 방법일 것으로 판단된다. 또한, 비정질리본이 미국과 일본에서 대량생산되어 변압기철심소재인 철계 METGLAS 제품은 '86년에 \$3.3/kg이었으며 앞으로 \$3/kg정도로 더욱 더 낮아질 예정이므로, 소재의 경제적 생산방안의 확립과 개발부품의 전력상품화 노력 및 독창성연구가 아울러 요구

되고 있는 상태에 있다. 따라서, 제품의 가격 및 성능면에서 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 새로운 합금설계에 의한 자성특성 향상연구 뿐만 아니라, 광폭비정질리본제조, 리본의 슬리팅, 열처리 및 자성열처리, 리본의 와인딩, 절연 coating, 제품화 및 품질관리 등에 이르는 생산제조공정확립과 아울러 효율적 운영관리에도 중점적인 연구투자 지원이 필요하며, 이러한 첨단소재분야의 연구개발이 성공적으로 수행될 경우에는 기술적 및 경제적 파급효과면에서 전자기산업 및 관련 부품산업의 육성에 크게 기여할 수 있을 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

- [1] 김홍구 : KNITI Technical Report No.48, "비정질합금의 제조기술과 국내외 동향(산업기술정보원, '91. 3)
- [2] 노태환 : The 5Th Applied Physics Symposium on the Magnetic Materials and Applications, Proceedings p.59, 1991.
- [3] F.E. Luborsky : "Amorphous Metallic Alloys", Butterworth and Co., London, 1993.
- [4] David Jiles : "Introduction to Magnetism and Megnetic Materials", Chapman and Hall, 1991.
- [5] Ryusuke Hasegawa : "Glassy Metals : Magnetic, Chemical, and structural Properties", CRC Press Inc., Florida, 1983.
- [6] 강일구, 김희중 : 신금속, No.4, p.13, 1986.
- [7] 田中良平 : 신금속 No.8, p.3, 1986.
- [8] S.J. Savage and F.H. Froes : Journal of Metals, No.4, p.20, 1984
- [9] C. Narasimhan : U.S. Patent, No. 4,331,739, 1982.
- [10] H.H. Liebermann : Journal of Applied Physics, Vol.61, No.1, p.319, 1987.