

節電型 電氣材料의 實用化開發

吳 明 煥*

■ 目 次 ■

- 1. 序 言
- 2. 高性能 節電型 Gapless 避雷器 特性素子
- 3. 低電力 消費型 Amorphous 變壓器 鐵芯

- 4. 結 論
- 參 考 文 獻

1. 序 言

1970년대 초반과 후반에 있었던 두차례의 석유에너지 파동은 전기에너지의 생산과 공급 및 소비과정을 통하여 이른바 電力消費 節減技術과 節電型 電氣裝置의 개발을 촉진시켰으며 선후진국을 막론하고 값비싼 전기 에너지를 조금이라도 절약하여 보자고 하는 연구과제가 수없이 도출되었다.

본고에서는 전력송배전계통에 사용되고 있는 變壓器와 避雷器用素材로서, 무부하운전시 또는 부하동작시에 발생하는 불가피한 소비전력을 절감시키기 위한 새로운 電氣材料의 技術開發 내용을 소개하고자 한다.

2. 高性能 節電型 Gapless 避雷器 特性素子

1968년 일본의 Matsushida 기술진에 의하여 세계 최초로 실험개발된 多添加物 ZnO nonlinear ceramic Resistor는 그 특유한 대칭적 Zener 특성과 우수한 흡수능력으로 인하여 전세계의 계통보호기술자들로 부터 많은 관심을 이끌고 있다. (1), (2)

산화아연 바리스터(ZnO varistor)라고 불리우기도 하는 이 새로운 非直線抵抗材料는 그 구조가 마치 導電性 酸化亞鉛粒子和 絕緣性粒界物質(3) 및 境界層을 matrix 형태로 복합시킨 모양을 취하고 있으며, 일정한 臨界電壓(혹은 바리스터電壓, 흔히 10^{-3} Amp.의 導電電流가 흐르고 있을때의 양단자전압을 말함)(4) 이하

에서는 거의 절연물과 동일한 특성을 나타내다가 그 이상의 단자전압이 인가되면 마치 導電 valve와도 같은 비직선적 전류증대현상을 일으킨다.

따라서 이 재료를 원자재로 이용할 경우 제조과정 및 크기를 조절함으로써 비교적 낮은 전압(수십볼트 이하급)의 전자회로용 과전압 흡수장치들로 부 특고압 내지는 초고압계통의 전력송배전용 거뢰기특성소자를 제작할 수가 있다. (5)

산화아연을 주성분으로한 금속산화물(Bi_2O_3 , MnO , CoO 등) 수종류를 적절히 혼합하여 $1200^{\circ}C$ 이상의 高溫燒結過程을 통해 제작되는 바리스터소자에 대한 연

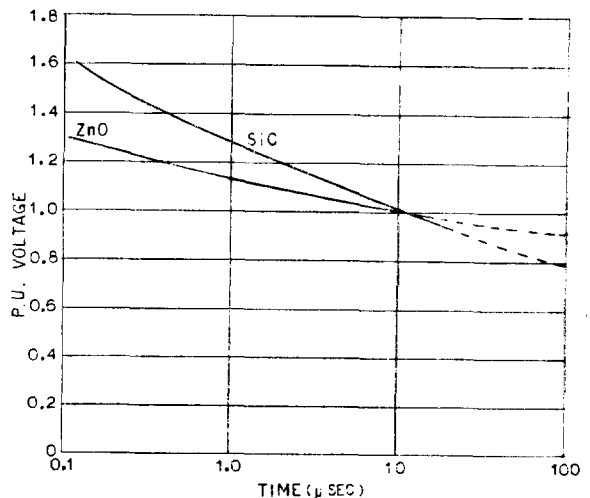


그림 1. ZnO varistor의 技術開發過程

* 正會員 : 韓國科學技術院 電子工學研究部 責任研究員·工博

구개발 및 응용기술은 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 주로 1970년대에 이루어졌으며, 1980년대에 들어와서는 미국과 일본을 위시한 선진국 연구개발진들이 주축이 되어 500kv및 1200kv급 초고압 전력계통의 異常 過電壓 써어지흡수용으로 ZnO gapless arrester를 실용화 개발하고 있는 실정이다.⁽⁶⁾

Gapless arrester의 장점 가운데 하나는 구조의 간편성(airgap 및 판련 방전전극의 설계제작이 필요없음)과 신속한 응답특성 및 추류(follow current) 차단 특성이며 평상시 및 이상과전압억제시에 발생하는 계통전력손실을 감소시킬 수가 있다는 점이다.

즉, 현재 사용하고 있는 제레식 피뢰기의 직렬공극(series airgap)에는 탄소저항 또는 탄화규소저항체로 형성된 분할저항(grading resistor)들이 병렬로 접속되어 있어서 계통전압이 정상적으로 유지되고 있을 경우 약 1mA 정도의 누설전류가 피뢰기를 통하여 대지로 방전되며 이때 소모되는 전력은 고전압용 피뢰기의 경우 수십 watt로 부터 수백 watt에 이르므로 모든 전력 계통과 설비에 부착된 수많은 피뢰기를 통하여 소비되는 전력은 상당한 양에 달한다.

이에 대하여 새로이 실용화되고 있는 gapless arrester는 방전특성소자로서 산화아연 바리스터 만을 직렬로 연결하여 사용하는데 정상상태에서는 도전전류가 약 10⁻⁶Amp 정도에 불과하므로 소비전력면에서 보나 열발생에 따른 안전도면에서 볼 때 제레식 피뢰기 보다 훨씬 유리함을 알 수 있다.

또한 多重性 落雷나 複合, switching surge 등에 기인한 충격대전류가 피뢰기를 통하여 대지로 방전된 이후, 定常電源系統으로 부터의 續流現象(follow current phenomena)이 거의 전무하므로 송배전전원계통에 미

치는 충격과 과도시간을 최소로 줄일 수가 있어서 불필요한 大電流 放電電力이 감소된다고 볼 수 있다.

한편 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 짧은 파두장(crest time)을 갖는 충격대전류의 방전시에 gapless arrester의 制限電壓特性(residual clamping voltage characteristics)이 제레식 피뢰기에 비하여 훨씬 우수하기 때문에⁽⁷⁾ 결과적으로 볼 때 각종 전력계통기기의 기본절연강도(BIL-basic insulation level)를 낮게 선택할 수가 있다. 따라서 만일 앞으로 ZnO varistor를 특성소자로 이용한 gapless arrester가 널리 보급될 경우 이와 같은 절연기소재의 제작비용이 엄청나게 절감되고 전력계통을 보다 경제적으로 운영할 수 있게 될 것이다.

3. 低電力 消費型 Amorphous 變壓器鐵芯

미국의 Allied Corp.사 기술진에 의하여 1974년도에 개발된 Fe₈₀B₂₀ 성분의 금속재료(일명 2605합금이라고도 불리움)는 일종의 無定形性合金成分(amorphous alloy composition)으로 구성되어 있는 새로운 형태의 磁性材料이다.

이 자성재료는 분말야금형태로 제작되는 웨라이트종류와는 판이하게 다르며 연철(soft iron)의 자성을 나타내면서도 그 磁氣의 特性이 매우 개선되어 있어서 최근에는 미국의 EPRI (Electric Power Research Institute) 연구개발계획에 의하여 低電力 消費型 變壓器 鐵芯材料로 주목을 끌게 되었으며 2605-S, 2605-SC 및 2605 S2등 각종 시작품명을 갖는 새로운 재료의 amorphous metal이 개발되고 있다.

지금까지 알려진 제조공법 가운데 가장 보편적인 것은 용융된 합금을 金屬硝子鋼帶로 半連續式 鑄造工法에 의하여 유리판 모양으로 가공시키는 방법이다.

즉, 고주파로속에서 液狀으로 용융된 합금물질로부터 직접 鋼帶를 생각할 수 있으므로 과거의 珪素鋼板 제조시에 고려해야 했던 수많은 중간공정 즉, 鑄造~熱間壓延→pickling→冷間壓延→annealing→coating에 이르는 공정과 비교해 볼 때 생산에너지의 절감은 물론 생산비 자체도 감소되므로 제조업체의 체산성이 크게 향상될 수 있다.

Allied사가 New Jersey의 Morristown에 설치한 pilot plant로부터 생산되는 너비 50mm의 無定形性 鐵芯鋼帶의 電力消費特性을 조사한 결과 60Hz의 상용 주파수에서 철심의 최대 자속밀도를 14KG로 설계한 경우 鐵芯單位重量當의 電力損失이 약 0.22watt/kg 정도로서, 지금까지 변압기 철심재료로 사용되어온 최고품질의 방향성 규소강판(예를 들면 M-4型 珪素鋼

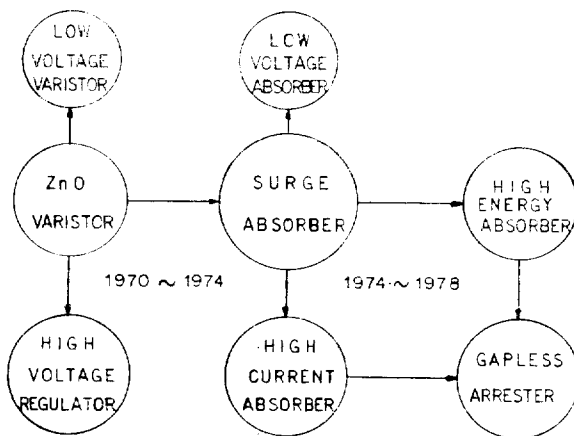


그림 2. 10KA 충격전류파두장과 방전전압의 관계 (ZnO 및 SiC 소자)

板)의 경우와 비교해 볼 때 약 1/4 정도에 불과하다. 미국의 Westinghouse사에 의하여 수행된 또다른 한 실험결과에 따르면 정밀주조방법으로 제조된 무정형성 강판의 경우 소비전력량은 약 0.1watt/kg⁽⁸⁾ 정도까지 감소될 수 있었음이 확인되었다.

한편 지금까지 시설된 가장 큰 pilot plant를 이용하면 폭이 172.8mm 정도인 amorphous steel plate를 1분당 약 900m 정도까지 뽑아낼 수 있으며, 이와 같이 보다더 넓은 폭의 강판에 대한 鐵損을 측정할 결과 50mm폭의 그것과 거의 동일하다는 결론을 얻었으므로 현재는 더 넓은 폭의 강판제조기술을 개발하기 위한 노력이 현재 진행중이다. 물론 이와 같은 기술개발은 타 연관기술, 즉, 耐火物設計, 熱傳達技術 및 材料의

加工處理技術의 향상과 함수관계를 갖고 있다.

Amorphous strip을 변압기 철심재로써 이용하는 데는 몇가지의 기술적 문제점을 해결하여야 한다.

그중에 하나는 amorphous strip의 독특한 물성적 및 기계적 특징들 때문에 재래식 철심제작기술과는 판이한 가공공정들을 검토해야 한다는 점이다. 예를 들면, 경도가 높고 두께가 얇은 판재로 흔히 대형 전력용변압기의 제작에 필요한 철심절단 및 적층작업(stacking)이 매우 어렵다. 물론 현재는 부분적으로나마 이 같은 문제를 해결하기 위해서 몇개의 얇은 strip들을 일단 용접가공하여 여러점으로 적층시킨 다음 중간경도의 두께를 갖는 철심들을 제작하고 나서 대형 철심을 구성하는 방안이 검토중인데, 이를 위해선 보다 빠

표 1. 선진국의 최신기술 개발 동향

기술내용	년도별목표			1981년도현재의 기술개발현황
	1980년도	1990년도	2000년도	
Advanced Power Generation				
1) Fuel Cells	▨			제 2 차 개발 Module 제작 pilot 규모의 실험설비 제작 1000 MWe 시험제작
2) MHD		▨		
3) Liquid Metal Fast Breeder		▨		
Power Generation from Renewable Resources				
1) Solar Thermal	▨			10 MW Pilot Plant \$1000~\$1500/peak KW system 2.5 MW 설치중 Heber 시험 작동중
2) Photovoltaics	▨			
3) Large Wind Turbine	▨			
4) Geothermal	▨			
Conservation				
1) Solar Heating & Cooling	▨			상업 운전중 15 종류의 운반차 시험 평가중 고효율제품 개발평가중
2) Electric Vehicle	▨			
3) Advanced Heat Pump	▨			
Performance and Economics of Electrical System				
1) UHV Transmission (AC/DC)	▨			Corona 현상등 연구중 (1500KV) 저손실변압기용 철심의 상업개발중 GIS용 성능시험중 Static VAR Generator 운전시험중 300MVA 시험 성능검사중 On-line inspection 설치중 (Solid Dielectric Cable)
2) Low-loss Transformer (amorphous steel)	▨			
3) 345 KV Gapless Arrester	▨			
4) Light Fired Thyristor	▨			
5) Super Conducting Generator	▨			
6) Laser Inspection System for cable insulation	▨			

※ 자료 : EPRI Journal, Vol. 6, No. 1 (1981)

른 속도로 성형, 절단 및 적층을 실시할 수 있는 제조 설비가 출현해야 한다. 최근에는 이와 같은 작업을 수행할 수 있는 고성능 산업용 Robot공작기기가 개발되어 있으므로 amorphous metal의 높은 인장강도를 잘 이용하면 오히려 自動化 高速捲線機의 사용으로 捲鐵芯 配電用 變壓器의 경제적 생산을 이룩할 수 있다.

Amorphous metal을 철심재료로서 이용하려는 또하나의 이유는 물성론적으로 볼 때 이 재료가 높은 電氣的 抵抗率을 나타내므로 無負荷時의 過流損(eddy current loss)이 매우 적다는 사실이다. 따라서 일정한 너비의 strip구조를 갖는 철심의 제작시에는 일반 구조강판에서와 같은 절연피복(insulation coating)이 필요없으므로 강판의 제작공정 및 가공비가 현저히 절감될 수 있다.

다만 지금까지의 실용화 개발추이로 보아 amorphous metal이 갖는 두가지 중요한 결점은 낮은 공간점유율(space factor)과 포화자속밀도(saturation magnetic flux density)이다.

공간점유율이라 함은 흔히 변압기 철심재료의 적층율(stack factor)과 비슷한 의미를 갖는 것으로서 철심부분의 총용적에 대한 철심재료만의 부피점유율을 말하며, 재래식 silicon steel의 경우 약 0.95정도이나 amorphous metal은 그 값이 약 0.80~0.85 정도 밖에 안된다. 이와 같이 space factor가 낮은 이유는 amorphous strip이 원래 너무 얇고 표면이 유리판이나 압연강판과 달라서 평활도가 낮기 때문이다. 결국 이와 같은 현상때문에 일정한 자속밀도를 유지하는데 필요한 철심의 부피가 종래의 구조강판의 경우보다 다소 증가하게 되므로 변압기 권선의 길이가 불필요하게 길어져서 부하시에 전력손실이 증가된다.

Allied와사 Westinghouse사 기술진들은 이와 같은 문제점을 제거하고 space factor의 값을 증대시키기 위한 새로운 strip-casting 방법을 강구중에 있다.

Amorphous metal의 포화자속밀도가 silicon steel에 비하여 낮은 이유는 무정형성 재료의 구성을 위하여 합금속에 첨가하는 glass-forming재료의 구성비 때문이다. 당초에는 이와 같은 저포화 자속밀도 특성때문에 이 재료를 이용하기가 곤란하다고 생각되었으나 현재는 그다지 중요한 인자가 못되고 있다. 즉, 최근에는 전력에너지 및 기자재비가 급격히 상승함에 따라 변압기 설계기술자들이 무부하 철손을 보다더 감소시

키기 위하여 silicon steel 철심의 자속밀도를 amorphous steel 수준으로 낮게 설계하는 경향이 급증하였기 때문이다.

결국, 현시점에서 보면 전술한 바와 같은 두가지의 기술적 문제점이 보다 개선될 경우 amorphous metal transformer는 종래의 silicon steel transformer를 대체하여 연간 수십억 또는 수백억원의 무부하 전력손실을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4. 結 言

지금까지 본고에서 소개한 節電型 電氣材料들은 1970년대 중반부터 미국과 일본을 위시한 선진국에 의하여 그 기술개발이 행하여져 왔으나, 앞으로는 우리나라에서도 이들 에너지절약형 전기기자재에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

다행히 ZnO varistor 및 gapless arrester에 대해서는 1980년대 초부터 기본적인 물성 및 전기적 특성에 관한 연구가 국내연구진에 의하여 수행되고 있으나 amorphous metal에 관한 특성연구는 아직 착수되지 않고 있다.

참고로 표 1에 1981년 현재 선진제국에서 수행되고 있는 각종 새로운 연구과제들의 진척현황을 소개하면서 우리나라에서도 관련 기술개발이 하루속히 시작되기를 기원한다.

參 考 文 獻

- [1] M. Matsuoka, Jap. J. Appl. Phys., 10(6), p. 736 (1971)
- [2] J.D. Harnden Jr. et al., Electronics, 45(21), p. 91(1972)
- [3] J. Wong, J. Appl. Phys., 46(4), p. 1653 (1975)
- [4] L.M. Levinson et al., J. Appl. Phys., 46(3), p. 1332 (1975)
- [5] M. Kobayashi et al., Trans. IEEE, PAS-97 (4), (1978)
- [6] EPRI Journal, 6(2), p. 25 (1981)
- [7] E.C. Sakshaug et al., Trans. IEEE, PAS-96 (2), p. 647 (1977)
- [8] EPRI Journal, 6(9), p. 46(1981)
- [9] EPRI Journal, 6(1), p. 32(1981)