

## 비정질 변압기의 개발동향 및 전망



송재성 (한국전기연구소 자성재료연구실장)

- '80. 2 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업
- '82. 2 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '91. 2 한국과학기술원 재료공학과(박사)
- '82. 3-현재 한국전기연구소 자성재료연구실장

### 1. 서론

비정질 자성재료가 처음 개발되었을 때 특성이 너무 우수하였기 때문에 이 재료를 변압기용 core재료로 사용가능하다는 것이 믿어지지 않았다. 부하의 유무에 상관없이 변압기에도 연속적으로 발생하는 손실인 무부하손을 보더라도 기존의 규소강판을 사용했을 때 보다 1/3이상 절감이 가능한 것으로 평가되었다.

이 재료의 또한가지의 장점은 제조공정이 단순하기 때문에 여러가지 공정을 거치는 기존의 규소강판에 비하여 제조원가를 낮출 수 있다는 것이다.(주: 비정질재료의 생산이 적정규모 이상일때 적용될 수 있다. 참고로 현재의 비정질재료의 가격은 규소강판의 가격의 1.5~2배에 달하고 있다.) 그러나 비정질재료의 변압기 철심재료로서의 적용이 결코 쉬운것 만은 아니었다. 우선 철심재료로 사용가능할 만큼 자기특성이 우수한 재료를 광폭으로 제조할 수 있어야 했다. 따라서 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 1980년초 1 inch 폭의 비정질리본을 연속적으로 뽑을 수 있는 기술이 개발되었으나 특성이 불균일 하였다. 꾸준한 연구 결과 1982년 후반기에는 변압기 철심재료로 사용가능할 정도의 폭을 가진 리본을 일정한 특성을 갖게 제조할 수 있게 되어 비정질재료의 변압기 철심재료로의 적용연구가 본격화 될 수 있었다. 1982년에 미국의 Electric Power Research Institute(EPRI), Empire State Electric Energy Research Corporation(ESEER Co), G.E. 등에서 비정질변압기를 개발하기 시작한 이래 최근까지 60,000~70,000대의 비정질 변압기가 제작되어 실선로에 가설되어 있으며 비정질 변압기의 제작, 설

치가 꾸준히 증가하고 있다.(주:일본에 가설된 10,000여대, 인도에 가설된 약간을 제외한 거의 모두는 미국에 가설되어 있다)

본 글에서는 비정질 소재 및 비정질변압기의 개발동향 및 문제점에 대하여 검토하고 향후 발전전망에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 변압기 철심용 비정질재료

### 2.1 역사적 배경

강자성 원소인 Fe를 다량 함유한 비정질 합금의 자성에 관한 최초의 연구는 1967년에 Piston-Anvil법으로 제조된  $Fe_{75}P_{15}C_{10}$  합금에 대해서이며, 이때 측정된 교류자화 loop로부터 보자력이 약 3 Oe라는 것이 보고되었다. 그 후 1971년 일본에서  $(Fe, Co, Ni)_{80}P_{10}B_{10}$  비정질 합금의 자기 moment와 Curie point에 미치는 조성의 효과에 관한 연구도 있었다.

그러나 이러한 초기의 연구는 시료가 수백 mg정도의 미량에 대한 것으로 자성재료로서의 흥미를 끌지 못했다. 그 후 1974년에 이르러 Fujimori, Egami 등이 리본형태의 시편을 이용하여 자기특성을 측정하였다. 즉 그들은 원심 급냉법을 이용하여 제작한  $Fe_{80}P_{15}C_7$  비정질 리본을 이용해 포화자속밀도  $B_s$ 와 Curie점  $T_c$ 를 측정하고, 또 자화 과정에 자구의 모양도 관찰하고 자장중 열처리에 의해 보자력이 0.08 Oe 정도로 낮아진다는 사실도 밝혀냈다.

현재 비정질 재료로서 각광받고 있는 것이 자왜(magnetostriction)가 0(zero)인 Co-base의 고투자율 합금과 전력용 변압기용의 Fe-base고자속밀도 합금이 있다. Co-base에 관해서는 최초 Sherwood 등의  $Fe_3Co_{72}P_{16}B_6Al_3$  합금이, 또 거의 같은 시기에 Kikuchi 등의  $Fe_{47}Co_{70.3}Si_{15}B_{10}$  합금이 발표되었고, 이 합금들은 둘 다 자왜가 zero로써 특히 우수한 투자율 특성이 가지고 있는 것을 보여주었다.

이 분야의 연구는 일본에서 활발히 수행되고 있으며, 현재의 고투자율 합금의 주류는 Fe-Co-Si-B계를 기본조성으로 하여 여기에 Ni, Cr, Mo, Nb 등을 소량 첨가하여 특성을 개량한 여러가지의

합금계가 발표되고 있다.

한편, Fe-base 고자속밀도 합금으로서는 Fe에 B, Si, C, P를 조합시킨 합금계가 주체이다. 초기에 연구된  $Fe_{80}P_{15}C_7$  합금은 14.3kG 정도의 포화자속 밀도밖에 나타내지 못했으나, 그 후  $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$  합금의 15.6kG,  $Fe_{80}B_{20}$  합금의 16kG,  $Fe_{85}B_7C_7$  합금의 17.8kG등이 발표되어 비정질 합금에서도 16~17kG의 높은 포화자속밀도가 얻어진다는 것이 명백해졌다. 더우기 G.E사의 Luborsky 등이 전력용 변압기 철심재료로서 특히 중요한 특성인 철손(core loss)이 현재 사용되는 규소강판의 약 1/3이 되는 것을 보고하여 비정질 자성 합금이 energy 절약시대에 부응하여 변압기 재료로서 쓰일 수 있다는 것을 지적한 이래 이 방면의 연구가 활발해졌다.

현재 비정질 변압기 재료의 주류는 Fe-Si-B계 합금이다. 이 합금은 포화자속밀도가 높고 비정질 형성능이 높으며 열적 안정성도 우수하다고 알려지고 있다. 특히 소량의 C를 첨가한  $Fe_{81}B_7Si_4C_2$  합금은  $B_s$ 가 16.1kG,  $H_c$ 가 0.008 Oe, 철손이 0.06 Watt/kg이라는 우수한 값을 나타내고 있고, 또 미국의 Allied Chemical사에서는 이와 비슷한 조성을 갖는 Metglas 2605SC( $Fe_{81}B_{13}Si_{3.5}C_{2.5}$ )를 전력용 변압기 철심재료로서 시판하고 있다. 비정질재료의 변압기 철심에의 응용에 관한 연구는 특히 미국과 일본을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

### 2.2 비정질 철심 재료의 자기 특성

비정질 합금 중에서 강자성을 보이는 합금 조성은 Fe, Co, Ni를 base로 하고 비정질화 원소로서 반금속 원소(B, P, Si, Ge 등)를 15~30% 함유한 것이다. 이러한 합금 중에서 변압기 철심재료로서 유용한 합금은 포화자화와 가격면으로 고려할 때 Fe-반금속계 이다. 따라서 합금 조성의 설계에서는 반금속 원소의 선택이 중요하다.

변압기 철심재료로서 중요한 자기 특성인 포화자화와 Curie 온도  $T_c$ 에 미치는 반금속 원소의 영향을 그림 1)에 나타내었다.

그림 1)에서 보는 것처럼 Fe계에서 B, C, Si의 조합으로는 높은 포화자화가 얻어지고, Ge, Si, B의

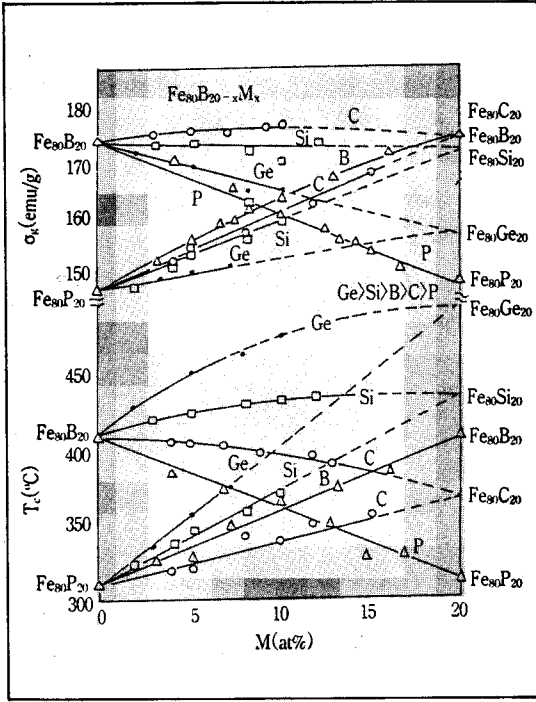


그림 1. Fe系 비정질 합금의 상온포화자화( $\sigma_s$ ) 및 Curie 온도에 미치는 반금속 원소의 효과

조합으로는 Curie 온도 특성이 향상되는 것을 알 수 있다. 이 결과로써 Fe-B-Si계 또는 Fe-B-Si-C계 합금이 변압기 철심재료로서 적합하다는 것을 알 수 있다. 그중에서 현재 변압기 철심재료로 주로 사용되고 있는 Fe-B-Si 합금 자기특성에 대해 기술하고자 한다.

### 2.2.1 Fe-B-Si계 합금

Fe-B계 합금에 Si를 첨가하면 연자성 특성이 대폭 개선된다. 또한 포화자화를 그다지 저하시키지 않으면서 Curie 온도를 상승시키는 효과, 열적 안정성과 비정질 형성능을 급격히 향상시키는 효과도 있다. 현재 변압기 철심재료로서 가장 유망한 것으로 여겨지는 합금이다.

이 합금계의 자기 특성에 관한 최초의 연구는 1975년 三寺 등에 의해 발표되었다.  $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$  합금의 자기 특성을 표 1)에 나타내었다. 여기에 나타난 특성은 쌍 roll법으로 제조된 합금에 대한 것으로 단 roll법으로 제조된 것보다는 약간 좋지 않으나, 그럼에도 불구하고 포화자속밀도 15.6kG 보자력 0.06 Oe, 최대투자율  $21 \times 10^4$ 의 양호한 특

표 1. 대표적인 비정질 철심 재료와 규소강판의 특징

합 금	$B_s$ (kG)	$H_c^*$ (Oe)	철손* (W/kg)	$T_c$ (°C)	$Br/H_c^*$	$Br/B_s^*$	저항치 ( $\mu\Omega \cdot cm$ )	자왜 $\lambda_1$
$Fe_{80}B_{20}$ (Metglas 2605)	16.0	0.03	0.44 (W14.5 kg/60Hz)	374	$32 \times 10^4$	0.77	145	$31 \times 10^{-6}$
$Fe_{76}B_7C_7$	17.8	0.15	0.51 (W17/60)	-	-	-	-	-
$Fe_{78}Si_{10}B_{12}^{**}$	15.6	0.06	-	447	$21 \times 10^4$	0.90	155	$33 \times 10^{-6}$
$Fe_{82}Si_8B_{10}$	16.0	0.03	0.24 (W16/60)	-	-	0.75	-	-
$Fe_{81}B_{13}Si_4C_2$	16.1	0.008	0.06 (W13/50)	400	$180 \times 10^4$	0.90	125	$40 \times 10^{-6}$
$Fe_{81}B_{13}Si_{3.5}C_{2.5}$	16.1	0.06	0.26 (W12.6/60)	370	$18 \times 10^4$	0.70	125	-
방향성 규소강	20.0	0.1	1.5 (W13/60)	740	$4 \times 10^4$	0.72	47	$\sim 10 \times 10^{-5}$

\* 각 값은 자장 중 열처리를 했을 때의 결과임.

\*\* 쌍 roll법에 의해 제작한 합금. 다른 것은 단 roll법 이용.

성을 나타냈다.

그림 2)는 쌍 roll법으로 얻어지는 비정질 형성범위와  $\mu_m$ 의 변화를 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이  $\mu_m$ 의 최고치는  $Fe_{75}Si_{10}B_{12}$  부근에 있고,  $H_c$ 도 그 조성에서 최소치가 된다. 이 당시에는 Fe-P-C, Fe-P-B, Fe-B계 합금을 주체로 한 연구가 중심이었기 때문에 그다지 주목을 받지 못하였으나 그 후 점차로 Fe-Si-B계 합금의 우수한 특성이 인식되어 현재 변압기 재료의 주된 합금계가 되고 있다.

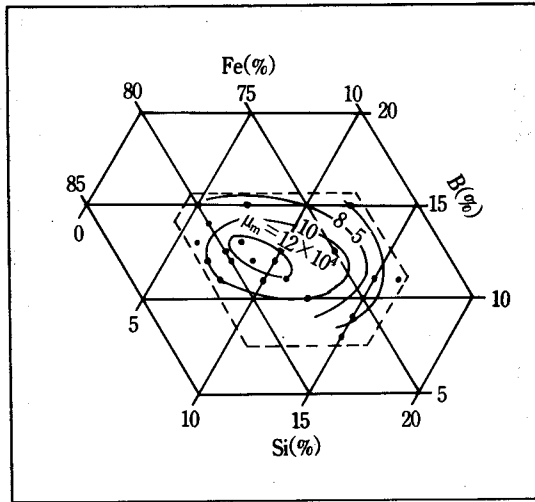


그림 2. 쌍 roll법으로 제조된 Fe-Si-B계 비정질 합금의 형성 범위와 최대 투자율( $\mu_m$ )의 조성 의존성

이 합금의 자기특성에 대해서는 많은 연구가 보고되고 있다. 예로써 그림 3) 및 그림 4)에 포화자화의 조성 의존성을 나타내었는 바, 연구자가 다름에도 불구하고 양측의 data가 꽤 일치함을 볼 수 있다. 그러나 보자력의 조성 의존성에 있어서는 연구자에 따라 그 결과가 각기 달라 통일성이 없다.

여기에서는 三寺 등의 결과를 그림 5)에 보였다. 이 결과에서는 보자력의 최소치가  $Fe_{75}Si_{10}B_{12}$ 의 조성 근처에 있고 그림 2)에 보인 최대 투자율의 최고치 조성과 대체로 일치한다.

일반적으로, 비정질 합금의 보자력이나 투자율 값이 가장 양호한 조성은 비정질 형성능이 큰 조성과 거의 일치하는 경향이 짙다. 표 1)의  $Fe_{82}Si_8$

$B_{10}$  합금의 특성에서 보는 바와 같이 그 합금의 철손은  $0.24\text{Watt/kg}$ 으로,  $Fe_{80}B_{20}$  합금에 비해 약 1/2로 작은 값을 나타내고 있다.

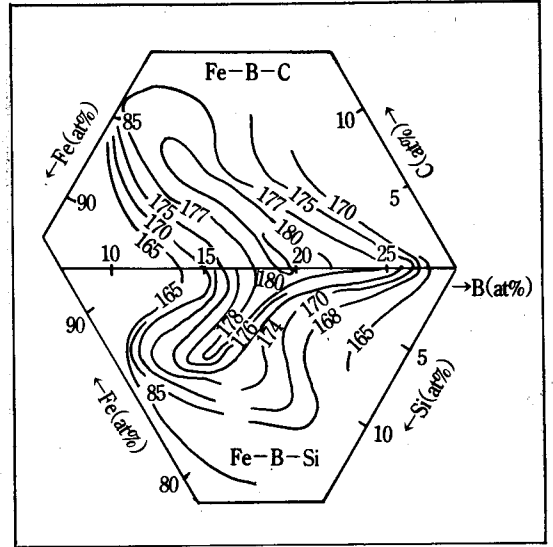


그림 3. 단 roll법으로 제작한 Fe-B-C 및 Fe-Si-B 3원 비정질 합금의 포화자화( $\sigma_g$ (emu/g))의 조성 의존성

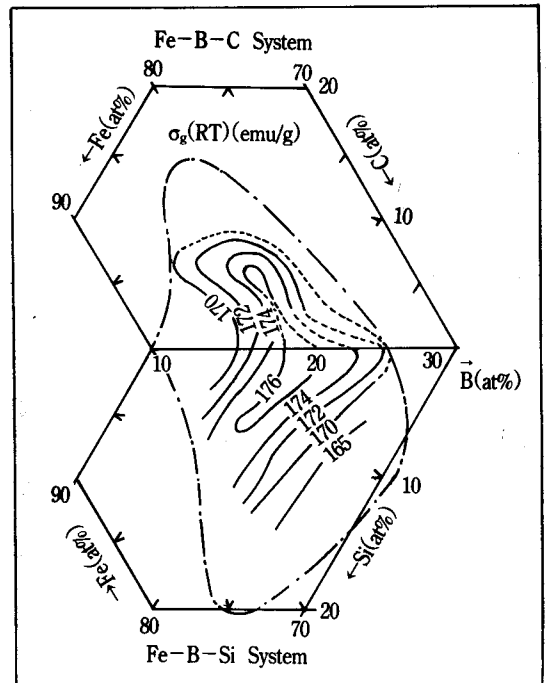


그림 4. 단 roll법으로 제작한 Fe-B-C 및 Fe-Si-B 3원 비정질 합금의 포화자화( $\sigma_g$ (emu/g))의 조성 의존성

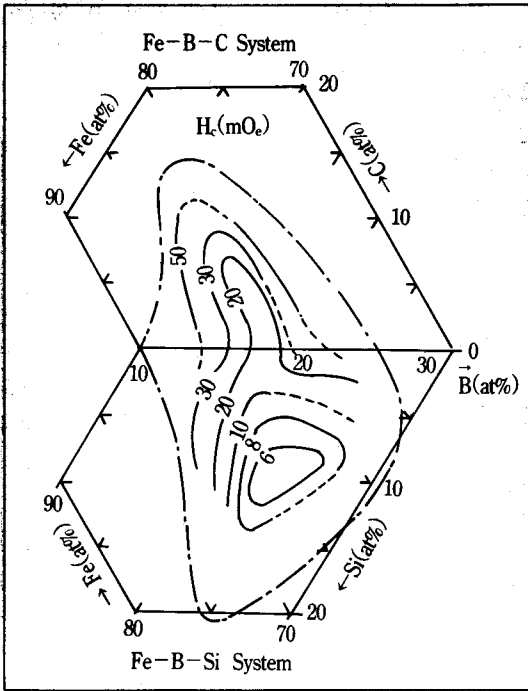


그림 5. 단 roll법으로 제작한 Fe-B-C 및 Fe-B-Si 3원 비정질 합금의 보자력(Hc)의 조성 의존성(자장중 열처리 후)

### 3. 비정질 재료의 응용상의 문제점

비정질 재료는 원자가 불균일하게 배열되어 있어 일반 결정질 재료와는 다른 특성을 나타내는데 이러한 특성의 차이 및 문제점을 요약하면 아래와 같다.

#### 3.1 자기특성의 온도 의존성

변압기 철심은 권선의 Joule열 및 철손에 기인한 발열로 인하여 온도가 상승한다. 철심의 온도가 100°C에서 유지된다고 가정할 때 규소강판 변압기의 경우는 포화자속밀도와 설계자속밀도에서의 철손이 거의 변화가 없는 반면 비정질변압기의 경우는 포화자속밀도가 6~8% 저하하고, 철손은 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 온도상승에 따라 비정질 재료의 내부구조가 완화되는 것에 의한 것으로 사료되어 비정질 변압기 제작시 유의해야 할 사항이다.

#### 3.2 경년열화

Field test 연구는 비정질 변압기의 개발 역사가 10여년 정도로 미천하기 때문에 아직은 미진한 상태이다.

그러나 미국의 경우 EPRI와 GE가 공동으로 실사용선로에 1025대의 비정질 변압기를 가설하여 운전중인데 지금까지 core에 문제가 있어서 철거된 경우는 단 한건도 없었고 일본에서도 100대의 비정질 변압기가 시운전중인 것으로 보아서 실사용에 큰 문제가 없을 것으로 여겨진다.

비정질 변압기의 수명을 예측하기 위한 130% 부하에서의 가속열화 시험연구(한국전기연구소) 결과로도 정상부하에서 25년 이상 가능한 것으로 평가되고 있다.

#### 3.3 점적률

비정질 리본의 두께가 20~30μm으로 얇기 때문에 변압기 철심으로 제작시 낮은 점적율을 갖는다는 것이 큰 단점이다. 예를 들어 규소강판 철심의 점적율이 95~97%인 반면 비정질 철심의 경우는 75~80% 수준에 머무르고 있다. 앞으로 변압기 설계 최적화, core winding 방법 개선 등으로 점적률을 높이는 방향으로 나아가야 할 것이다.

#### 3.4 열처리

비정질 리본은 리본제조과정에서 생기는 강한 잔류 응력을 제거하기 위하여 열처리 하여야 한다. 그러나 열처리에 의하여 구조완화가 일어나면 자기특성을 저하하는 요인으로 작용되기 때문에 적절한 온도에서 적절한 시간동안 열처리하여야 한다.

열처리는 대개 자장을 리본 길이 방향으로 일가하면서 하는데 이는 리본 길이방향으로 유도 자기이방성이 형성되게 하여 180° domain이 형성되게 함으로써 철손을 줄이고자 함이다.

#### 3.5 가공상의 문제점

비정질 변압기에 사용되는 철계 비정질 재료는

Hv=900정도로 아주 단단하고 가공중 발생하는 열에 의하여 구조완화되어 부스러질 염려가 있기 때문에 가공이 쉽지 않다.

따라서 cut-core 방식 변압기의 core를 절단하는데는 여러가지 가공방법이 제시되고 있는데 특수자석으로 일정한 매수를 띄워서 절단가위로 자르는 방법, cutting wheel로 절단하는 방법 등이 많이 사용되고 있다.

#### 4. 비정질 변압기의 개발동향

##### 4.1 미국 및 일본의 개발동향

###### 4.1.1 권철심 변압기의 개발동향

미국에서의 비정질 변압기 개발진행 속도는 매우 빨라서 소형 권철심 비정질 변압기는 이미 실용화 되고 있는 것도 있다. 미국에 설치되어 시험운전되고 있는 비정질 변압기 대수는 현재 약 50,000대에 달하고 있으며 앞으로 계속 증가할 것으로 보인다.

미국은 GE사, W.H사를 비롯한 여러 변압기 제작사가 양산체제를 갖추고 있어 앞으로 점차 보급이 늘어날 전망이다. EPRI와 GE사가 공동으로 개발한 25kVA급 1,000대의 pilot 변압기는 미국내 90개 전력회사에서 field 평가되어 약 2년이 경과되었는데 비정질 자성재료에서 기인되는 고장은 거의 없는 것으로 알려져 있다. GE사에서는 1986년 경부터 25kVA 이외에 50~100kVA의 변압기를 시판용으로 개발하여 ANSI규격(American National

Standard Institute)이 요구하는 모든 시험에 합격하였다고 한다. 표 2)에 GE사에서 개발한 비정질 변압기와 규소강판 변압기의 특성을 비교하였다.

한편, 일본에서의 개발상황은 미국과 같은 정도의 빠른 것이라고 할 수는 없어도 비교적 빠르게 진행되고 있다. 주요 변압기 메이커는 1980년경부터 연구개발에 착수하여 자사 단독 또는 전력회사와 공동개발하여 비정질 변압기를 시험제작하고 있는데 그 개발 대상은 거의가 50kVA의 권철심 주상변압기이다. 현재 이러한 변압기는 장기신뢰성을 포함한 각종 시험을 거치고 있다. 비정질 변압기 개발의 선두주자라고 할 수 있는 미국과 일본의 권철심 주상변압기 개발동향을 한마디로 요약하면, 미국은 실용가능성이 확인되어 상용화 되어있는 단계에 있고 일본은 실용가능한 제조기술을 확립하고 실용화를 향해 발돋움하고 있는 단계에 있다고 할 수 있다. 표 3)에 비정질 변압기의 개발 연혁을 나타내었다.

###### 4.1.2 적철심 변압기의 개발동향

적철심 변압기는 제작공정이 복잡하고 자동화가 어려운 관계로 아직은 소량을 실험적으로 제작, 평가하는 단계이다. 초기에는 20 $\mu$ m 두께의 비정질 리본을 절단하여 적층하는 방법으로 비정질 변압기를 제작하였으나 리본 5~6매 정도를 압착하여 두께를 두께제한 lamination 소재가 개발됨(Allied Chemical사의 상품명 Power Core)으로 인하여 현재는 주로 이를 이용하여 비정질 변압기를 제

표 2. GE사 비정질 변압기의 종류와 특성

특 성	용량 및 종류			25KVA		50KVA		100KVA	
				Amo	Si	Amo	Si	Amo	Si
무 부 하 손 [W]				15.4	57	29	87	49	162
부 하 손 [W]				328	314	455	462	944	933
여 자 전 류 [%]				0.14	0.36	0.13	0.23	0.09	0.21
임 피 던 스 [%]				2.45	2.45	2.65	3.16	3.00	2.58
소 음 [dB]				33	40	41	42	-	-
온 도 상 승 [°C]				48	57	46	40	59	61
총 중 량 [lbs.]				441	406	719	706	1,131	961

표 3. 비정질 변압기 개발 현황

제 작 회 사	용 량(kVA)	상 수	연 대	
ALLIED SIGNAL	15, 25, 50	1	1980~1983	
GENERAL ELECTRIC	0.5, 1, 25	1	1979~1981	
	50	1	1982	
	EPRI와 3년 계약			1982
	25(25대)	1	1983	
	25(1000대)	1	1985	
	300(적철심)	3		
	25(시판)	1	1986	
50(시판)	1			
WESTING HOUSE	EPRI와 4년 계약		1979	
	10	1	1981	
	10(1년간의 필드 테스트)			1982
	25	1	1985	
	500(적철심)	3		
	25(시판)	1	1986	
McGRAW EDISON	10, 25	1	1981~1985	
TRNSFIX	75	3	1983	
KUHLMAN	15	1	1984	
GEC	16	1	1984	
FEDERAL PIONEER	10	1	1984	
三 菱 電 機	0.5	1	1980	
	0.4	3	1982	
	35	3	1983	
다 이 헨	10	1	1981	
	30	1	1982	
高 岳 制 作 所	0.3	1	1980	
	1	1	1981	
	20	1	1982	
東 芝	10	1	1982	
	1	3	1982	
	100	3	1983	
	10(적철심)	3	1985	
愛 知 電 氣	20	1	1982	
	75(적철심)	3	1985	
	20(스텝)	1	1986	
日 立	150	1	1982	
	1	1	1984	
富 士 電 氣	5	1	1984	
	10(적철심)	1	1985	
北 陵 電 氣 製 造	5	1	1983	

작하고 있다. 권철심 방식으로 제작가능한 용량은 250~500 kVA 정도이므로 그 이상 용량의 비정질 변압기는 제조공정의 어려움에도 불구하고 적철심

방식을 사용하여 제작해야 하므로 적철심 방식에 대한 연구도 꾸준히 진행시켜야 한다.

미국에서는 EPRI와 WH사를 중심으로 한 개발

연구가 진행되고 있고, 박대(薄帶)를 사용한 3상 500kVA 변압기가 시제작되어 field 시험을 위해 현재 나이아가라 모호크 전력회사의 실계통에서 사용되고 있는 예가 있으며 1986년 일본 전력중앙연구소에서는 (주)DAI-HEN의 협력하에 비정질 lamination 재료를 사용해 적철심 변압기(단상 100 kVA)를 시제작하는데 성공하였는데 철손은 권철심과 마찬가지로 기존의 규소강판 변압기의 약 1/4로 저감되었다.

현재는 연속 과부하시험을 계속 중인데 단락 시험 등을 거쳐 1년 이상이 경과하였으나 이상은 전혀 나타나지 않고 있다고 한다. 또한 1987년 일본의 중부전력과 애화전기는 그때까지 어렵다고 생각되었던 비정질 lamination 재료의 상은 절단법을 개발하여 3상 500kVA 적철심 변압기를 시험 제작하였다.

#### 4.2 기타 제외국의 개발동향

비정질 변압기 개발은 미국과 일본이 주도하고 있으나 이밖에 비정질 변압기개발과 관련하여 기술도입 또는 독자 기술개발을 시도하는 나라는 세계 약 10개국에 이르고 있다.

유럽에서% 벨기에, 독일, 이탈리아, 스페인, 영국 등이 있고 북아메리카에는 캐나다, 멕시코 그리고 극동 및 아시아지역에서는 한국, 대만, 인도 등이 있다.

#### 4.3 국내의 개발동향

국내의 비정질 변압기 개발은 1984년 한국전력공사 기술연구원과 효성중공업(주)의 공동연구로 20kVA 주상변압기 6대를 제작하여 시험 평가한 것이 시초이며 1990년에 이들은 Cut-Core 방식의 20kVA, 30kVA, 50kVA 비정질 변압기를 각 6대씩을 제작하여 현재 실증시험 및 경년열화특성 시험을 위해 운용하고 있다. 지금까지 시제작한 변압기는 거의 수작업으로 제작되었으며, 1992년 부터는 양산화를 위한 공정의 최적화 표준화 및 자동화를 위한 연구개발이 정부의 제조업 경쟁력 강화 정책에 따른 생산기술개발과제로 선정되어 한전기술

연구원이 주관하여 한국전기연구소, 효성중공업, 이천전기, 삼정전기가 공동 참여하여 연구진행중에 있어 앞으로의 개발결과가 기대되고 있다.

### 5. 전 망

비정질 변압기의 발전에는 두가지 측면에서 고려해야 한다. 한가지는 비정질 소재에 대하여는 꾸준히 연구개발하여 특성을 향상시키고, 광폭화하는 것이고 또 한가지는 변압기 제작기술을 개선하는 것이다. 우선 비정질 소재에 대하여 언급하면 이미 상당한 정도로 연구개발이 진행되어 미국의 Allied Chemical사에서는 Metaglas 2605-S2 라는 상품명으로 8 inch 이상의 폭을 가진 리본을 상당히 균질하게 제조하여 판매하고 있다. 그러나 앞으로도 좀 더 자기특성이 우수한 비정질 재료를 개발하고 지금보다는 균질한 재료를 생산하는 연구가 필요하며 생산규모를 대규모화하여 가격을 낮추어야 할 것으로 생각된다. 변압기 제작기술 개선면에서는 비정질 소재의 우수성을 살릴 수 있는 최적 설계, 비정질 core를 제작하기 위한 process의 개선 등을 들 수가 있는데 이 방향에 대한 연구가 상당히 진척되고 있다. 따라서 비정질 리본의 대량생산에 의한 소재가격 하락, 변압기 제작공정개선에 의한 원가절감이 빠른 시일내에 이루어질 것으로 보여 비정질 변압기 적용에 가장 어려운 면인 규소강판 변압기와의 가격 경쟁력에서 유리한 입장에 설 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

- [1] H. W. Ng, R. Hasegawa and A.C. Lee, Proceeding of IEEE, 79, 1608(1991)
- [2] 정순종, 전기기술동향(한국전기연구소), 1993년 1월호, 7
- [3] Allied chemical company, technical report
- [4] J. S. Song, H. B. Im and M. S. Yun, J. Appl. phys. 69(8), 5014(1991)
- [5] J. S. Song, W. W. Park, H. B. Im and J. W. Hong, Scrip. Metall. 25, 73(1991)