

# 아몰퍼스 코어 소재 및 변압기의 개발동향

A Tendency of the Amorphous Core Materials and Transformer

〈2〉

공학박사 강 원 구

한전 기술연구원 배전연구실 선임연구원

## 2·4·4 자 왜

철심재료로서 기대되는 Bs가 높은 Fe계 비정질 합금은 포화 자왜정수  $\lambda_s$ 가  $30\sim 40 \times 10^{-6}$  정도로서, 교번자계중의 자왜량은 방향성 규소강판의 약 10배이다.

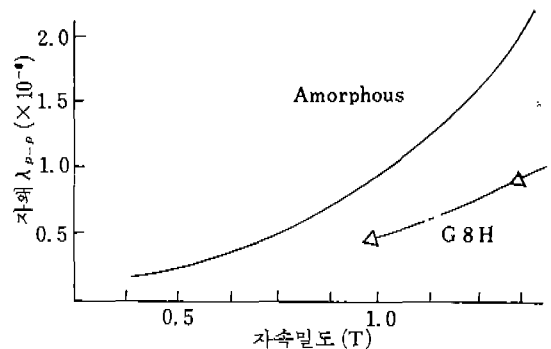
자왜는 변압기의 소음원이 되므로 이 영향을 제거하여야 하는 것은 필연의 사실이다. 규소강판의 경우  $\lambda_s$ 가 같은 정도의 크기라도 결정립의 방향성을 높임으로써 교번자계중의 자왜는  $1 \times 10^{-6}$ 까지 낮출 수 있으나 비정질 합금은 상기와 같은 방법을 취하는 것은 불가능하다. 실제로 그림 2·5에서 보는 바와 같이 1.0T 이상에서는 비정질 합금은 규소강판의 수배~수십배 정도의 값이다.

그러나 미국의 G.E, 일본 대판의 비정질 변압기의 시험제작 결과를 보면 당초 염려되었던 소음에 비하여 오히려 양호한 값을 나타내었다. 이의 원인으로서 변압기의 소음은 자왜에만 영향을 받는 것이 아니라 철심의 구조, 조립방법 등에 크게 의존하기 때문이므로 이용면에 있

어서 많은 연구가 필요하다.

## 2·4·5 열처리

비정질 재료 급냉한 상태 그대로는 잔류응력 때문에 양호한 연자성 특성이 얻어지지 않을 뿐더러 Core를 소정의 형태로 Winding 할 때 받은 응력을 제거하기 위하여 결정화 온도 이하에서 열처리를 하여야 하나, 통상의 열처리 방법과는



〈그림 2·5〉 자속밀도에 따른 규소강판 및 비정질 금속의 자왜 변화

전혀 다른 자장중 열처리를 하지 않으면 충분한 자기특성이 얻어지지 않는다.

자장중 열처리하는 변압기 제조공정을 복잡하게 할 뿐만 아니라 생산성을 떨어지게 하므로 큰 문제점으로 대두되고 있으며 열처리 온도 범위도 비정질 재료는 결정질 금속에 비하여 낮고, 일반적으로 열전도도가 낮기 때문에 Core의 표면과 내부를 균일하게 승온시키기 위해서는 온도 조절에 세심한 주의가 필요하고 Heat Cycle을 엄밀히 조정, 감시하지 않으면 안된다. 특히 대형의 Core에 있어서는 적절한 Annealing Heat Cycle을 달성하기 위해 다수의 열전대를 사용하여야 한다.

한편, 비정질 재료는 응력제거 열처리를 하면 매우 Brittle하게 되므로 후공정의 조립 과정에서 조심스럽게 다루어야 한다. 예를 들면 하나의 평가방법으로 비정질 재료를 Bending Test 하는 경우 Annealing 전에는 반경 1.0mm에서도 파손되지 않는데 반하여 Annealing 후는 반경 3.5mm에서도 파손되어 버린다.

### 3. 아몰퍼스 코어 변압기 개발 동향

#### 3.1 아몰퍼스 코어 변압기의 손실 절감량

효율적인 전력 전송은 전력사업의 역사 만큼이나 오래된 문제점 중의 하나로서, 효율증대를 위한 손실절감은 지금도 계속되고 있는 전력 계통상의 중요한 연구 과제이다.

송전계통의 손실은 송전선로의 자체 손실과 계통에 부착된 변압기의 손실이 상당한 부분을 차지하고 있다. 이러한 손실중 선로손실과 변압기의 동손은 부하에 따라 변하는 손실인데 반하여 변압기의 철손은 부하에 관계없이 발생하는 계속적인 손실이므로 효율증대에 주요한 관점으로 주목받아 왔으며 현재 대부분의 변압기 국제 입찰에서 적용되는 손실평가제 (Loss Evaluation System)에서도 철손의 평가 금액이 동손에 비해 3~5배로 계산되고 있는 실정이다. 따라서

〈표 3·1〉 아몰퍼스 코어 변압기의 철손 비교

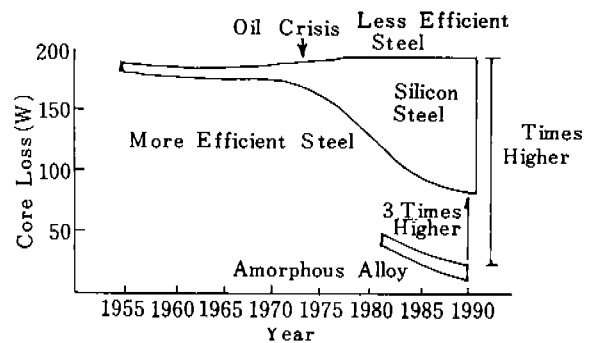
구분	① PG급 규소 강판 변압기	② Hi-B급 규소 강판 변압기	Amorphous Core 변압기
철손	80W	34W	17W (①대비 79% 절감) (②대비 50% 절감)

아몰퍼스 재료를 이용한 변압기의 개발은 획기적으로 철손의 감소를 이룩할 수 있는 혁신이라 할 수 있다.

아몰퍼스 철심재료가 변압기의 철손을 현재의 1/3~1/4 정도로 줄일 수 있는 소재라는 것은 익히 알려진 바이다.

표 3·1은 1986년도에 한국전력공사 기술연구원에서 효성중공업(주)와 공동으로 시험제작한 20kVA 주상변압기를 기준으로 한 아몰퍼스 변압기의 철손 감소량을 표시한 것이다.

표 3·1과 같은 비율로 계산하면 국내 기존 변압기를 아몰퍼스 코어 변압기로 전량 교체했다고 가정할 경우 예상 손실절감량은 5.7억 kWh로 추정('89년 기준)되며 금액으로 환산하면 '89년 발전원가 29.46원/kWh를 기준으로 약 168억원의 원가를 절감할 수 있다. 또한 전체 송배전 손실을 '89년 기준 6.08%에서 0.76% 감소시킨 5.32%로 유지할 수 있으며 세분하면 송변전 손



〈그림 3·1〉 변압기 철손의 감소 추세

실률 3.42%, 배전손실률을 1.90%로 운전할수 있는 효과를 나타낸다(참조: '89년 현재 한전의 배전 손실률은 2.66%이며 배전 손실중 배전용 변압기의 철심손실은 총 배전손실의 36% 정도이다).

그림 3·1은 미국 Allied사에서 조사한 변압기 도별 철손 감소 추세이다.

비정질 합금 저손실 Core재료로 각광받는 이유는 본질적으로 자기손실이 작기 때문이며, 이는 전기저항이 크고, 박판이어서 와전류손실

(Eddy Current Loss)이 작기 때문이다. 그러나 이 분야에 대한 연구는 최근에 시작되었을 뿐이고 앞으로 많은 연구개발이 요구되고 있다.

### 3·2 아몰퍼스 코어 변압기의 기술동향

#### 3·2·1 개발 역사

1979년 미국 EPRI에서 비정질 철심재료를 개발, Amorphous Core 변압기 제작기술 연구를 시작한 이후 1983년 Pilot Plant를 건설한 Allied 사에 기술이전, 연간 6천톤 규모의 Pilot

〈표 3·2〉 Amorphous Core 변압기 개발 연혁

미	국	연	도	일	본
W.H. : EPRI와 4년간 계약 (120만\$)	→	1979			
[ 재료특성평가 철심제조기술 Handling기술 경제성평가 ]					
	Allied : 15kVA(1φ)	→	1980		
					← Mitsubishi : 500VA (1φ) Dakaoka : 300VA (1φ)
G. E. : 25kVA (1φ)	→	1981			
					← Osaka : 10kVA (1φ) (Allied Co.의 기술원조) Dakaoka : 1kVA (1φ) (동경전력과 공동개발)
W.H. : 10kVA 1년간의 실용 Test	→				← Mitsubishi : 400VA (3φ5각철심)
G. E. : EPRI와 3년간 계약 (600만\$)	→	1982			
[ 25kVA (1φ)을 1,000대제작 설계·제조의 양산기술 경제성 평가 ]					
					← Osaka : 30kVA (1φ, 3φ) ← Toshiba : 10kVA (1φ), 1kVA ← Hitachi : 15kVA (1φ) ← Dakaoka : 20kVA (1φ)
					← Mitsubishi : 35kVA (3φ) ← Hitachi : 20kVA (1φ)
			1983		
					← Toshiba : 100kVA (3φ)
W.H. : 500kVA (3φ)	→	1984			
(EPRI와 공동연구)					← Fuji : 10kVA (1φ) ← Toshiba : 10kVA (3φ) ← Aichi : 75kVA (3φ)

Plant를 제작하여 시험생산 및 상업생산을 하여 왔다.

또한 미국과 일본의 변압기 제조업체들은 비정질 자성재료의 낮은 철손 특성을 살리면서 배전용 변압기의 고효율화를 목표로한 비정질 변압기의 개발에 지속적으로 연구와 투자를 진행해 왔다.

표 3·2는 그 개발현황과 기술발전 단계를 나타내고 있다.

### 3·2·2 외국의 기술동향

1kVA 이하의 연구 해석용 변압기를 제외한 실용규모의 변압기에서는 미국의 Allied사가 제작한 15kVA 변압기를 필두로 하여 지금까지 발표되고 있는 최대 용량은 Westing House사의 500kVA 적철심 변압기로 알려져 있으나 상세한 내역은 아직 발표되고 있지 않다.

세계 각국의 현재까지의 진행된 사항 및 결론지어진 기술동향은 다음과 같다.

#### (1) 미국의 기술동향

미국 굴지의 첨단기업인 Allied Chemical Group의 자회사인 Allied Signal사는 변압기용 Amorphous 합금 개발에 1,500만 \$ 이상을 투자하였으며, 1989년 3월 South Carolina의 Conway에 세계 최초로 상업규모(연간 6천톤)의 공장을 건설하여 가동중이다. Amorphous Core 변압기 제작기술로는 현재의 G. E사, Westing House Electric사, Kuhlman사 등이 Amorphous Core 변압기 제작의 완전 자동화 기술을 보유한 것으로 발표되고 있으며, 현재 미국내 실제 제동에 운용중인 Amorphous Core 변압기 수는 25,000대에 이르고 있다. 뿐만 아니라 EPRI와 각 전력회사를 중심으로 Amorphous Core 변압기의 신뢰성 및 에너지 절감 평가 연구에 대한 보고서가 지속적으로 발표되고 있다.

#### (2) 일본의 기술동향

미국 Allied사가 일본에 관련 특허 출원을 한

지 12년만에 일본내 특허가 등록되었으며 일본의 Nippon Steel사에서도 Amorphous 합금을 개발하였으나, 특허권 때문에 '91년 제조장비에 대한 특허 및 '93년 조성에 대한 특허권이 풀리면 Amorphous 합금을 양산키 위해 준비중이다. 일본의 변압기 제조업체도 Amorphous Core 변압기에 대한 제조공정을 확립하여 양산체제를 갖추고 있으나 소재 가격이 높은 점과 기존직원의 해직문제 등으로 생산을 미루고 있다. 또한 일본내 2개의 전력회사에서도 Amorphous Core 변압기를 시험 운전중에 있으며 동경전력은 '89년부터 20kVA, 50kVA급 변압기에 대해 실증 시험을 진행중이다.

Amorphous Core 변압기의 제작가격은 현재로서는 규소강판 소재의 변압기에 비하여 50% 정도 높으나, 제조공정의 합리화 등에 따라 비용절감이 가능하여 2~3년 후 상품화가 가능할 것으로 보고하고 있다.

#### (3) 대만전력의 기술동향

대만내 대만전력은 소재는 미국에서 수입하고, 변압기 제조공정은 일본업체와 기술제휴로 Amorphous Core 변압기를 생산키로 계획 추진중이다(기술제휴사는 Dakaoka사로 알려짐).

#### (4) 인도의 기술동향

인도내의 전력회사는 배전용 변압기를 Amorphous Core 변압기로 연차적으로 대체키로 결정, 국내 제작 및 수입을 동시에 추진중이며 소재 면에서는 대용량 및 3상변압기 제작에 필수적인 Amorphous 적층판 제조공정을 건설중이다.

이상에서 기술한 바와 같이 세계 각국에서 Amorphous Core 변압기의 실용화에 적극적인 자세로 투자에 임하고 있다. 현재까지 보고된 미주 및 일본의 변압기 제작회사에서 제작된 변압기의 특성은 표 3·3과 같다.

### 3·4 국내의 기술동향

〈표 3·3〉 각국 아몰퍼스 코어 변압기 특성 비교표

구분	미국 Allied사	일본 대판 변압기			미국 G. E	일본 Mitsubishi	일본 Toshiba			
개발년도	1980년	1981년	1982년	1981년	1983년	1983년				
용량(kVA)	15	10	30	25	35	100				
형식	진식	옥외용 유입자냉식 6호A			유입자냉식	물드식자냉F중절연	유입자냉식			
상수	1φ	1φ			1φ	1φ	1φ			
주파수(Hz)	60	60			60					
전압		6600-210/105V			12470Y/ 7200-120 /240V	F6.9/F6.6/R6.3/ 6.0/5.7kV-210/ 105	F6.75/P6.6/ F6.45/F6.3/ 6.15kV-210V			
철심재료		2605SC	2605S-2	2605S-2	2605S-2	2605S-2	2605S-2			
무부하손실(W)	14	11.8	8.6	30.1	28	49	85			
부하손실(W)	166	170	173	390	-	980	1780			
기타	여자전류 0.12A	여자전류(%)	0.14	0.11	0.16	여자전류(%)	0.3	여자전류(%)	0.5	여자전류 : 0.68%
		임피던스전압(V)	178	181	361					
		소음(dB)	36.5	35.3	38.5	소음(dB)	38	임피던스전압(%)	5.00	
		중량(kg)	115	115	260	Core중량(kg)	88	소음(dB)	58	임피던스전압 : 4.6%
		유량(ℓ)	22	22	45	효율(%)	97.14			

### 3·4·1 소재의 국산화

아몰퍼스 소재 측면에서의 국내 기술은 1988년부터 한국전력공사 기술연구원과 한국전기연구소의 공동 연구로 시작되었고 소재 특성분석과 소재 개발을 추진하여 왔으며 폭 1inch의 실험실 규모 생산을 성공하였다. 이를 바탕으로 향후 양산화 System과 광폭 소재개발을 목표로 연구가 추진중이고 90년 상반기내에 2inch 폭의 생산과 91년 상반기내 4inch 폭 생산이 가능하리라 전망되고 있다. 또한 한국전기연구소(KE RI) 측은 정부의 지원을 받아 소재생산 건설계획을 수립, 추진중이며 대용량 변압기의 적용을 위해 한전 기술연구원과 공동으로 적층형 Core 제작기술을 동시 개발 완료기로 계획하고 있다.

### 3·4·2 변압기 제작 기술

국내의 Amorphous Core 변압기 제작은 한국전력공사 기술연구원과 효성중공업(주)의 공동

연구로 '84년부터 추진되고 있으며 이미 효성측이 한전 기술연구원에 20kVA 주상변압기 6대를 공급, 현재 일부 실증시험을 위한 운전중이며 일부는 경년열화 시험대상으로 시험하고 있다. 이는 세계에서 3번째로 Amorphous Core 변압기 제작방법을 독자적으로 개발한 것으로 특히 열처리(소둔)기술축적에 많은 공헌을 이룩하였으며 이 변압기 개발로 한전 기술연구원과 효성중공업(주)는 1987년 제3회 경향 전기, 에너지 대상을 수상하였다.

그러나 용량의 대용량화에 따른 소형, 경량화 추진을 위한 제작기술의 개발과 철손 안정을 위한 설계 기술향상이 시급히 요구되고 있다.

또한 한전 기술연구원에서는 현재 20, 30, 50 kVA 변압기를 제작하고 있으며 계속해서 10kVA 및 75kVA 급 변압기 생산을 향후 연구계획에 포함시키고 있다.

〈다음 호에 계속〉