

아몰퍼스 코어 소재 및 변압기의 개발동향

A Tendency of the Amorphous Core Materials and Transformer

〈3〉

공학박사 강 원 구

한전 기술연구원 배전연구실 선임연구원

3·5 아몰퍼스 코어 변압기 제작

3·5·1 설계 방법

Amorphous Metal을 이용한 변압기가 기존 Si 강판 변압기와 비교하여 무부하손이 약 1/3 ~ 1/4 정도이므로 우선 배전용 소형 변압기에 Amorphous Metal을 적용하여 상당한 효과를 볼 수 있다.

그러나 이러한 이점을 실제품에 이용하는 데는 Amorphous Metal의 독특한 성질을 고려한 변압기 설계방법이 강구되어야 한다.

즉, Amorphous Metal의 제조 특성상 두께가 얇을 뿐만 아니라 경도가 높아 기존 제작방법을 이용할 시 많은 문제점을 야기시킬 뿐만 아니라 충분한 특성을 발휘할 수가 없다.

먼저 Amorphous Metal의 적철심 변압기에의 적용에 대하여 검토하여 보면 Amorphous Metal의 얇은 두께는 적층시 Core 적층매수를 증가시켜 Core 성형과정을 어렵게 하는 등 공정상에 많은 문제점이 생길 뿐만 아니라 Amor-

phous Metal의 높은 경도(Hv: 900)로 인하여 Cutting이 어렵고 Cutting으로 인한 철손증가 현상은 피할 수 없게 된다.

현재 선진 각국에서도 적철심 변압기 시작결과가 발표되고 있으나 가장 핵심기술은 Core Cutting에 따른 제반 문제점 즉, Cutting으로 인한 철손증가, 공구의 수명 등에 대하여 집중 연구하고 있는 것으로 알려지고 있으며, 제조사인 미국의 Allied사는 적철심용 Amorphous Core로서 "Power Core"라는 상품명으로 시판하고 있으므로 앞으로 기대가 주목된다.

한편, 권철심 변압기의 적용에 대하여 살펴보면 Core의 Cutting이 없는 Non-Cutting Core 방식을 채택하여야 하나, Non-Cutting Type은 기존 Si강판 변압기 공정에서 제조공정상 경쟁력이 떨어지는 방식이라고 알려지는 것과 같이 Amorphous Metal 변압기에서도 제조공정상 문제점으로 대두되고 있다.

일부 선진 Maker에서도 Cutting Core 방식을 제작하였으나 Non-Cutting Type에 비하여

제반특성이 떨어지고 재료의 Loss율이 상당히 높은 것이 문제점인 것으로 발표하였다.

그러므로, 현재의 재료특성상 및 제조기술수준으로서는 Non-Cutting Type 방식이 절대적이거나 Amorphous Core 자체가 얇은 박판의 적층으로 이루어져 있으므로 Core 자체의 성형유지에 대하여 집중연구가 필요하다.

즉, Amorphous Metal로 제작된 Core는 Core 성형유지를 위하여 Core에 Stress을 주지 않고 지지할 수 있는 보의 구조방식이 강구되어야 할 것이다.

변압기의 외형치수에 크게 관련있는 점적률에 대하여 살펴 보면 Amorphous Metal은 순간적으로 주조상태에서 만들어질 뿐만 아니라 현재 상품화되어 있는 제조공법이 단 Roll법인 관계로 표면 조도가 $25 \pm 5 \mu\text{m}$ 정도로서 압연공정으로 제조되는 기존 Si강판의 균일한 표면조도에 비하여 폭에 따라 두께변화가 심하고 표면조도가 높다.

그러므로 Amorphous Metal의 심한 두께변화, 표면조도, 얇은 성질이 조합되어 점적률에 영향을 미치고 있다. 즉, 기존 Si강판의 점적률은 95% 이상인데 반하여 약 80%로서 훨씬 낮은 값을 가지고 있다.

결과적으로 Amorphous Metal을 이용하여 Core를 제작시 기존 Si강판과 같은 정도의 유효단면적을 얻기 위해서는 약 18% 증가된 단면적을 가져야 하므로 변압기의 외형 치수가 커질 요소가 많아지며 점적률이 낮음으로 인하여 Core 층간의 미끄러지는 성질이 크게 되어 Core 전체를 지지할 수 있는 구조가 필요하게 된다.

다음은 열처리 공정에 대하여 살펴 보면 기존 Si 강판의 경우 역시 권철심 형상의 변압기 제조공정에서 받은 Stress을 제거하기 위하여 열처리를 하나 이때의 열처리 공정은 단지 제조공정 중에 받은 응력을 제거시키기 위한 방법으로 행하여진다.

그러나, Amorphous Metal는 변압기 제조공정상 받은 응력뿐만 아니라 Metal 주조공정시

에 받은 높은 잔류 응력을 가지고 있다.

이러한 이유로 Amorphous Metal의 변압기 제작 공정상 전혀 부가적인 응력을 받지 않았더라도 Amorphous Metal을 최상의 자기적 성질을 갖도록 하기 위해서는 열처리를 하여야 하나 자장중에서 열처리하므로 제조공정상 많은 문제점이 되고 있다.

Amorphous Metal의 최적 열처리를 위한 온도-시간 상관관계는 매우 중요하며 변압기특성을 좌우하는 요소이다. 열처리온도는 가능한한 모든 응력을 제거시키기 위하여 될 수 있는 한 높아야 하나 이로 인한 Amorphous Metal의 결정화가 이루어져서는 안된다.

3.5.2 제작 방법

Amorphous 자성재료는 규소강판과는 성질이 다르기 때문에 변압기에 조립할 경우에도 몇 가지 특징이 있다. 아래에 그 주된 점을 든다.

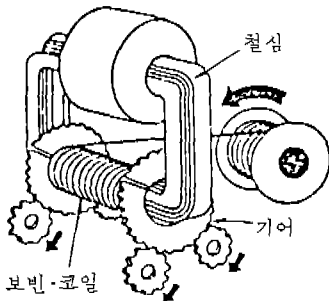
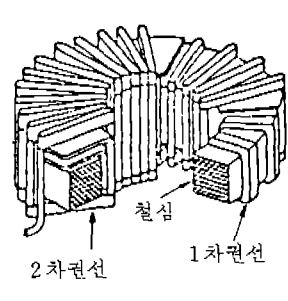
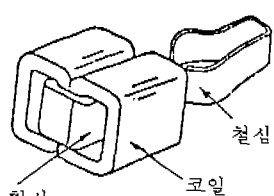
(1) 철심 형상

아몰퍼스 자성재료는 박대 때문에 권철심이 적용되고 있다. 권철심의 형상에는 표 3, 4에 든 바와 같이 노컷 방식(No-Cut Type)과 트로이달 방식(Troidal Type)이 주된 방식이다. 아몰퍼스 변압기의 개발 당초에는 노컷 방식으로 제작되고 있지만 그후 다른 두가지 방식이 사용되었다. 특히 컷 방식(윈턴 컷 방식)은 현재의 규소강판 변압기에서 사용되고 있는 방식이기 때문에 기존 제조 라인을 효과적으로 활용할 수 있는 이점이 크고, 더욱이 노컷방식에 비해 소형화, 저손실화가 가능하고 현재 한전 기술연구원에서도 이 방식으로 설계를 하고 있다.

(2) 변압기 구조

아몰퍼스 자성재료는 기계적 응력을 받으면 자기 특성이 저하되는 성질을 지닌다. 한 예로 철심중량이 절리는 구조로 되면 철손은 10%, 여자전류는 30%까지 증가되는 경우도 있다. 때문에 철심 자체의 중량이나 코일 중량이 철심에

〈표 3·4〉 철심의 형상과 특징

	노 컷 방식	트로이얼 방식	컷 방식
형상 및 조립법			
특징	<ul style="list-style-type: none"> · 철심제작은 간단 · 권선기가 필요 · 대형 	<ul style="list-style-type: none"> · 자로 길이를 유효하게 사용 · 특성이 우수함 · 권선작업이 특수 (특수 권선기 필요) 	<ul style="list-style-type: none"> · 양산에 적합하다 · 1매마다 절단이 필요 · 소형화 · 기존 변압기 방식

걸리지 않게 되는 지지물이 필요하게 된다.

(3) 한전에서 시험제작한 변압기의 특성

(가) 철 손

세계적으로 여러 회사에서 제작하고 있지만 철손은 현행 변압기의 거의 1/3~1/4의 값으로 되어 있어 저손실화에 극히 유효하다는 것을 알 수 있다. 표 3·5에 현행 규소강판 및 아몰퍼스 변압기의 특성을 비교하여 표시하였다.

(나) 여자전류(무부하 전류)

아몰퍼스 자성재료는 우수한 여자성을 지니고 있기 때문에 철심을 자화시키기 위한 여자전류

가 작다. 주의해야 할 것은 여자특성이 열의 영향을 받기 쉽기 때문에 온도상승과 함께 여자전류가 증가한다는 점이다.

(다) 소 음

자기변형이 크기 때문에 초기에는 변압기 소음이 염려되었지만 권철심에 대해서는 규소강판과 거의 동일한 레벨이었다. 자기변형은 포화자속밀도에 가까운 영역에서는 문제가 되는 경우도 있지만 변압기에 사용되는 1.3T(테라스) 정도에서는 지장이 없으리라 생각된다.

(라) 장기 신뢰성

주상변압기는 일반적으로 선로에 설치된 후에는 내용연수(15년) 이상 연속 운전할 수 있는 성능이 요구되고 있기 때문에 장기간의 신뢰성은 매우 중요한 항목이 된다. 외국의 전력회사에서 실시된 보고에 의하면 지금까지의 사항으로 볼 때 실용화에 대해 문제가 될 수 있는 것은 나오지 않고 있지만 수년의 경험밖에 없어 앞으로의 연구결과가 기대되며 한전 기술연구원에서도 '86년 이태 현장 실증시험과 초고속 수명시험을 병행하여 현재까지 진행하고 있다.

〈표 3·5〉 아몰퍼스 변압기의 특성표

용량	내역		구분
	철손(W)	여자전류(%)	
20 kVA	77	1.7	아몰퍼스 코어 변압기
	21	0.5	규소강판 변압기
30 kVA	100	1.7	아몰퍼스 변압기
	27	0.5	규소강판 변압기
50 kVA	149	1.7	아몰퍼스 변압기
	35	0.5	규소강판 변압기

3·6 아몰퍼스 코어 변압기의 경제성 평가

3·6·1 개 요

변압기 손실은 무부하손인 철손과 부하손인 동손으로 나누어지며 무부하시 발생하는 무부하손은 부하에 관계없이 항상 발생하는 손실이므로 전체 사용시간으로 계산하면 그 의미는 중요하다.

이와같이 철손의 중요성을 강조하여 철손이 낮은 변압기를 정량적으로 평가하는 제도를 철손평가 제도라 하며 그 정의는 다음과 같다.

즉, 전력회사가 지불하는 Total Cost는 Initial Cost에 무부하손과 평균부하손을 가미한 것이며 손실 Cost는 변압기의 수명에 걸쳐서 누계한 것이다.

따라서 아몰퍼스 변압기인 경우 철손이 매우 낮아 변압기의 가격이 높게 되어도 Total Cost가 떨어질 가능성이 있으므로 경쟁성이 있다고 할 수 있다. 그러나 아몰퍼스 변압기와 기존 Si 강판 변압기와의 경쟁성 여부는

① 아몰퍼스 재료가격은 얼마까지 낮출 수 있는가

② 손실평가액이 얼마로 되어야 하는가에 따라 좌우된다.

3·6·2 Amorphous Metal의 가격 동향

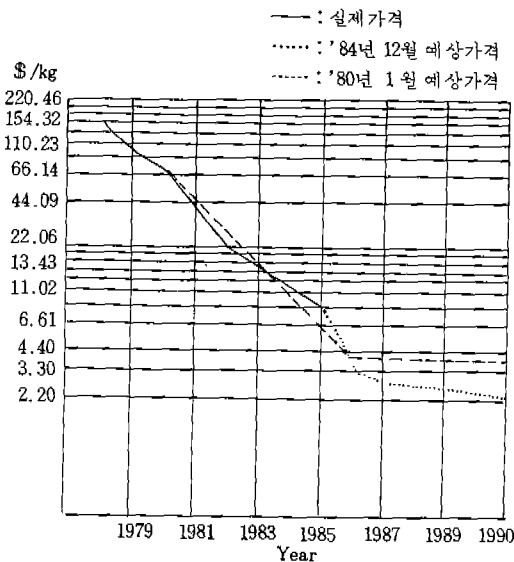
Amorphous Metal의 가격동향은 그림 3·2와 같다.

즉, Amorphous Metal의 가격은 '86년까지 급격히 감소했으나 초기에상값에 비하여 그 감소폭이 매우 적으며 앞으로의 가격은 '80년도 예상가격보다 낮을 것으로 추정하고 있다.

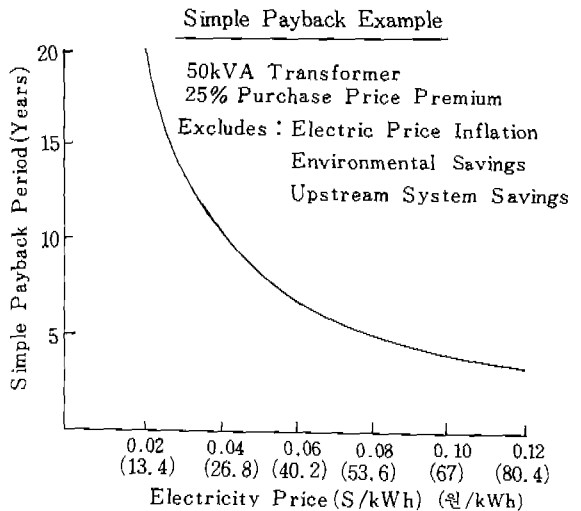
한편, 기존 Si 강판에 대한 가격동향을 살펴보면, 아몰퍼스 변압기의 상품화가 이루어지면 Amorphous Metal의 제조원가는 하락하는데 반하여 기존 Si 강판은 점차 고급화를 추진하고 있으므로 원가상승한 요인이 많으므로 근간 기존 Si 강판의 1.5배 수준까지 떨어질 것으로 예상된다.

3·6·3 Amorphous 변압기의 경제성

송배전 손실률의 감소를 위하여 배전용 변압기를 고효율 변압기로 대체하는 일은 필연적이라 할 수 있다. 아몰퍼스 변압기가 실용화되어

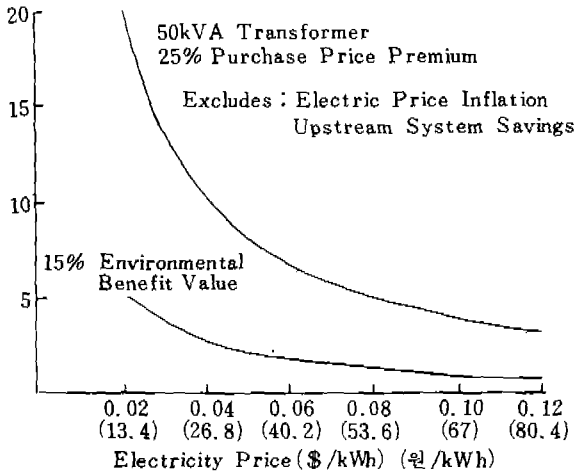


〈그림 3·2〉 아몰퍼스 변압기 철심 가격동향



〈그림 3·3〉 전력단가에 따른 초기투자액 회수년도

Simple Payback Example



〈그림 3·4〉 환경공해 방지책을 고려한 전력 단가에 따른 초기투자액 회수년도

보급될 경우 가격은 기존 변압기보다 25% 정도 비쌀 것으로 추정되나, 변압기의 내용연수(15년) 동안 에너지 절약효과, 환경적인 효과, 추가 전력 생산에 필요한 발전소 및 송배전 계통의 비용증가 등을 고려할 때 아몰퍼스 변압기의 경제성은 충분하다고 할 수 있다.

그림 3·3은 미국전력회사의 전력단가와 초기투자액 회수년도 사이의 관계를 도시한 곡선으로서 우리나라의 '89년도 발전단가 29.46원/kWh를 적용하면 초기투자액 회수년도는 약 8년 정도로 상당한 경제성이 있다고 볼 수 있다. 또한 아몰퍼스 코어 변압기는 기존 규소강판 변압기와 대체되어 사용되면 에너지 절약기기로서 손실절감량 만큼의 발전을 덜하게 되는 효과를 얻을 수 있으므로 부수적으로 발전에 따른 환경공해 방지책에 들어가는 비용을 줄일 수 있다.

그림 3·4는 미국 전력회사의 환경공해 방지책을 고려한 전력단가와 초기투자액 회수년도 사이의 관계를 도시한 곡선으로서 '89년도 발전단가를 적용하면 초기투자액 회수년도는 약 2.5년이 되어 미국내에서의 아몰퍼스 코어 변압기의 보급을 앞당기는 요인이 되고 있다.

4. 결 론

이 글은 최근 각광을 받고 있는 첨단재료의 하나인 아몰퍼스 코어 소재를 이용한 변압기에 대하여 우리나라를 포함한 각국의 개발동향과 보급전망에 대하여 언급한 것이다.

아몰퍼스 합금을 변압기용 철심재료로서 응용한 것은 겨우 10년밖에 되지 않았지만 그동안 기초와 응용양면에서 활발한 연구개발이 진행되어 이제 새로운 변압기용 철심재료로 규소강판과 나란히 실용화될 전망이다.

현재 미국에서는 개발 진행속도가 매우 빨라서 약 25,000대의 배전용 아몰퍼스 코어 주상변압기가 운전되고 있고 매년 100만대씩 신설될 예정이며 앞으로 2,000만대까지는 가동될 것으로 추정된다.

이 수치는 전 미국의 배전용 변압기 수량에 대해서는 미미한 숫자이지만 General Electric사를 비롯한 여러 메이커에서 차례로 양산 체제를 갖추고 있어 앞으로 점차 보급이 늘어나게 될 것이다.

한국전력공사 기술연구원에서는 1984년 연구에 착수한 이래 국내 연구기관 및 업체와 공동으로 연구개발을 주도해 왔으며 1990년도 중반까지 일부 실용화 보급을 목표로 연구에 박차를 가하고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 변압기 철심의 저감화는 새로운 자성재료가 출현될 때마다 획기적으로 진보되어 왔으나 신재료가 등장했다고 해서 바로 보급된 경우는 아직 없었다.

꾸준한 연구노력, 국가적인 정책지원 및 업체의 개발의지가 조화를 이루었을 때 비로서 좋은 결실을 맺을 수 있으며 이 글이 본 분야에 관심을 가진 분들에게 많은 도움이 되기를 바라마지 않는다.

끝으로 본 원고작성에 귀중한 자료를 제공해주신 한국전기연구소의 홍진원박사, 효성중공업(주)의 안기철과장에게 깊은 감사의 뜻을 전한다. (연재 끝)