

1KVA 급 비정질 변압기의 코어제작 및 특성평가

정순종O, 우병철, 송계성, 황시돌*, 최형석*
한국전기연구소 *한전기술 연구원

Manufacture and test of amorphous core for 1 kVA transformer

S.J. Jeong, B.C. Woo, J.S. Song, S.D. Hwang*, H.S. Choi*

Korea Electrotechnology Research Institute, Korea Electric Power Corporation Research center*

Abstract

We manufactured amorphous core for 1 KVA transformer by lap-step and one cut method, and measured the magnetic characteristics of the cores as a function of the number of ribbons per group, the number of group per set, the air gap and radius of core edge.

1. 서론

일반적으로 변압기를 분류하는 방법으로는 적철심형과 권철심형으로 나누는데, 소형 변압기의 경우 주로 권철심을 이용하는데 코어의 구조는 가능한 자기 저항이 적도록 철심구조를 설계하여야 한다. 그러나 비정질 변압기는 일반적인 규소강판 코어 변압기와는 달리 표준화가 되어 있지 않고 생산 공정도 상이하므로 새로이 최적 설계를 하여야 한다. 특히 철심의 절단 부위는 그 구조에 따른 손실과 작업 상의 문제점은 기존의 규소강판 코어와는 상당히 다르므로 이에 따른 기본 자료가 필요하나 현재 국내에서는 아직까지 전무한 실정이다.

현재 비정질 변압기의 권철심 코어에 대한 연구는 주로 미국(G. E., WESTING HOUSE, A. B. B.)과 일본에서 수행되었다. 비정질 코어를 제작할 때 가장 고려할 점은 절단 부위에 따른 손실과 경제적인 면이다. 미국에서의 joint 방식은 주로 butt-lap-step 방법을 사용하고 있다.

이 방법은 종래의 step-lap 방법과 step-butt 방법에 비해 손실 면과 가공 상의 측면에서 유리하다. 특히 이 방법은 비정질 리본을 감은후 절단하여 다시 코어 형태를 만들 때 간편하므로 유리하다. 그러나 이러한 butt-lap-step형식을 만드는 방법에는 대체적으로 2 가지 방식으로 나뉘어진다. winding→one cut→재구성 하는 방법과 winding→여러 크기의 원주에서 커팅→재조합 하는 방법이 그것이다. One cut 방식의 장점은 자로의 연속성을 유지할 수 있으며(손실 감소) 작업이 간편한 점이다. 그에 반해 재조합시에 정확히 설계에 맞추는데 시간이 오래 걸리고 복잡하며 공극의 크기가 증가하므로 점적률이 감소하여 조립(build-up)이 커지는 단점이 있다. 여러 원주에서 커팅후 재조합하는 방식은 겹치는 부위의 길이가 감소함으로써 조립

(build-up)의 커짐과 점적률의 감소를 최소화하는 장점이 있으나 작업시간이 더 길어지는 단점이 있다. 현재 우리는 이미 one-cut 방식을 채택하였으므로 절단을 한번만 하는 편리함이 있지만 joint의 부위에서 겹침에 의한 build-up이 일어나므로 리본의 손실과 점적률의 감소가 발생된다. 그러므로 본 연구에서는 butt-lap-step 방식에 one-cut 방법을 사용한 경우, build-up을 최소화하면서 자기 손실을 낮추기 위해 ribbon/group 수와 group/set 수에 따른 코어 자기 특성 변화를 측정하여 코어형상을 최적화 하고자한다.

2. 실험 방법

가. 원 재료의 특성

본 연구에서는 Allied Signal 사의 폭 170mm, 두께 23μm의 리본 형태의 비정질 합금(METGLAS TCA)을 구입하여 사용하였는데 재료의 물성치를 표 1 에 나타내었다.

나. 코어 제작 및 특성평가

1) Winding

Allied Signal 사에서 구매한 비정질 리본은 롤 형태로 약 700kg, 지름 1m 정도의 대형 시료이므로 와인딩하기 위한 적당한 장비를 만들어서 사용하였다. 실제로 변압기 코어 형성 방법에서는 와인딩후 one-cut 방식을 사용해야 하지만 소형 코어 제작이므로 리본을 길이 700mm씩 여러장 절단하였다.

2) 코어 shaping

소형 코어는 약 1kVA급으로 만들었다.

길이 700mm, 폭 170mm인 비정질 리본을 60배로 곱친후 가로 100mm, 세로 230mm(모서리 곡률 반경 5, 20mm)인 스텐리스 강 지지 틀에 감았다. 감은 리본을 지지하기 위하여 리본 위에 얇은 동판을 감고 소형 스텐리스강 킴들로 세로로 각각 4개, 가로로 각각 1개씩 유지시켰다.

3) 자장중 열처리

코어에 길이 방향으로 유도 자기 이방성을 주기 위하여 동선을 비정질 코어에 30turn 감고 DC Power Supply를 이용하여 10 Oe의 자장을 인가하고 N₂분위기에서 열처리하였다.

4) B-H 특성 및 철손측정

시료는 B-H meter를 이용하여 B_{10} , Br, Hc의 자기 특성을 측정하였으며, core loss는 bobbin에 winding된 시료를 power meter(YOKOGAWA2503)를 이용한 V-A-W법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

코어 제작의 가장 큰 목적은 최적의 자기 특성과 작업 공정의 편의성에 부합되는 코어를 찾자 하는 것이다. 이미 앞에서 언급한 바와 같이 코어의 형태는 butt-lap-step 형식이다. one cut 방식의 철심은 형태상으로 중심의 사각 부에 잘려진 코어층이 감겨져 있다. 이러한 잘려진 부분(joint region)은 철심이 감겨지지 않은 부위에 많이 배치하고 있으며 cutting된 부위는 계단 형태로 배치하여 지료에서의 손실을 줄이고 있다. 그러나 비정질 코어에서는 두께가 23 μ m 정도의 아주 얇은 두께이기 때문에 기존의 규소 강판 코어에서 사용되고 있는 방법을 이용하기가 상당히 어렵다. 그러므로 아래 그림과 같이 lap-step 방식을 일반적으로 사용하고 있다. 사실상 lap-step 방식도 대표적으로 만드는 방법에 따라 두 가지 형태로 나눌 수 있지만 우리는 one cut 방식을 사용하고 있으므로 이에 따른 방법을 연구하였다. 그리하여 cutting부위의 형태는 그림 1에 나타내었으며, 이 때 1 group당 리본의 수, 1회 cycle시의 group 수, gap 등을 고려하였다.

가. group당 리본수 변화에 따른 영향

group당 리본 수에 따른 철손의 변화를 그림 2에 나타내었다. 코어는 스펀리스 지지 대에 적층한 후 365 $^{\circ}$ C에서 자장중 열처리하여 제작하였는데 group당 리본 수가 증가할수록 점차 철손값은 증가하고 있으며 group 당 리본수가 20매일때까지는 철손값이 완만히 증가하다가 그 이상의 매수에서는 철손이 급격히 상승하였다. 즉 ribbon/group이 5인 코어의 설계자속밀도 1.2T에서 철손값을 기준치 1로 하였을 때 20 ribbons/group까지는 10%정도 증가하다가 30 ribbons/group에서는 30%이상 철손이 증가하였다. 이렇게 ribbon/group이 증가함에 따라 철손이 증가하는 이유로는 보자력의 증가, Br의 감소에 따른 히스테리 손의 증가와 와전류 손의 증가에 기인하는 것으로 여겨져 보자력과 자속밀도 및 잔류 자속밀도를 측정하여 그림 3, 그림 4에 나타내었다. 보자력과 포화자속밀도는 ribbon/group에 비해 큰 변화를 나타내지 않았지만 Br값이 ribbon/group이 증가할수록 점차 감소하고 있다. 주파수에 따른 철손의 변화를 측정하여 와전류손에 따른 변화를 예측하고자 10Hz에서 60Hz까지 주파수를 변화시키면서 철손을 측정하였는데 (그림 5), 주파수가 증가함에 따라 철손이 증가하지만 ribbon/group의 변화에 따른 철손의 차가 크게 변화하지 않는 것으로 보아 와전류손도 크게 변화하지 않는 것으로 보인다.

따라서 ribbon/group가 증가함에 따라 철손이 증가하는 이유는 주로 Br값이 감소되기 때문으로 사료된다. 그런데 이 Br값이 감소한다는 것은 유도 자기 이방성의 감소로 인한 것이지만 본 실험에서는 모든 종류의 코어에 대하여 10 Oe의 자장을 걸어주었으므로 이러한 유도 자기 이방성의 감소의 영향은 아닌 것으로 판

단된다. 따라서 ribbons/group의 증가에 따라 Br이 감소하는 이유는 core joint부위에서 자속이 균일하지 않고, joint의 곡부 부위에 집중되기 때문에 평균자속은 1.2T나 1.3T이라 하여도 이러한 곡부 부위에 1.3T이상의 과도 자속밀도가 발생되어 자구 이동보다는 회전현상이 일어나서 전체적으로 각형비를 감소시키기 때문인 것으로 생각된다. 위 실험에서의 작사각형 모양의 코어의 철심이 toroid형태의 코어의 그것보다 높은 값들을 나타내고 있어 열처리 온도와 모서리의 곡률 반경의 크기가 코어의 자기특성에 미치는 영향에 대해서도 조사하였다. 먼저 곡률 반경의 크기에 따른 철손의 변화를 그림 6에 나타내었다. 모서리의 곡률 반경은 5, 20mm에 대하여 조사하였다. 그림에서 보듯이 철손값의 차이가 거의 없었으며 따라서 곡률반경의 영향은 joint부위가 미치는 영향보다는 작음을 알 수 있었다.

열처리온도에 따른 영향을 조사하기 위하여 355 $^{\circ}$ C, 365 $^{\circ}$ C, 380 $^{\circ}$ C에서 각각 2시간 열처리하여 그 결과를 그림 7에 나타내었는데 355 $^{\circ}$ C에서 365 $^{\circ}$ C, 380 $^{\circ}$ C로 열처리 온도가 증가됨에 따라서 급격히 철손이 증가되었다. 이는 소형 toroidal core의 최적 열처리 온도가 380 $^{\circ}$ C인 것과는 다른 결과인데 이는 코어의 크기에 따라서 전체적인 열처리 시간이 길어짐에 따라 최적 열처리 온도가 감소하는 것으로 생각되며 온도차에 따른 변화가 심해지는 것을 알 수 있었다.

나. group/set에 따른 영향

group/set 실험을 하기 위하여 ribbons/group수의 값으로는 5와 20을 선택하였다. 그 이유는 5에서 최소의 손실을 나타냈으며 ribbon수가 20까지 증가할 때 손실도 증가했으나 그 크기가 10%정도이기 때문이다. 그러나 group당 ribbon수가 30개가 되면 손실이 30%이상 증가하게 된다. 또한 작업 상의 편리성을 고려하면 ribbons/group가 클수록 유리하다. 그리하여 ribbons/group를 5, 20으로 설정하였다. set당 group수는 5, 7, 10으로 설정하여 실험을 하였다. 이때 group수를 10으로 제한한 것은 실제 코어제작시 10 이상은 불가능하였기 때문이다.

그림 8 과 9는 각각 5와 20 ribbons/group에서 set당 group수에 따른 철손값을 나타낸 것이다. 각각의 그림에서 group수가 5에서 7, 10으로 증가할 때 철손은 100% 이상 증가하였으며 그 크기는 group당 ribbon수가 20일 때 더 컸다. 그리하여 5와 20 ribbons/group에서 모두 5 groups/set이 가장 적은 손실을 나타냈으며, set당 group수가 증가함에 따라 철손의 차이는 매우 컸다. 이유에 대해서 생각하기 위하여 보자력과 자속밀도를 측정하였는데 Hc와 Bs값은 0.039 Oe와 15.6kG로 모든 경우에서 일정하였으나 Br값은 5, 20 ribbons/group의 경우 모두 groups/set가 증가함에 따라 감소하고 있었으며 20 ribbons/group에서는 그 감소 폭이 매우 컸다. 따라서 최적의 ribbons/group 결정 실험에서와 마찬가지로 joint부위에서 자속밀도 영역이 증가되어 각형비가 감소되는 것으로 생각된다. 또한 와전류손의 영향을 고려하기 위하여 주파수 변화에 따른 철손의 변화도 1T, 1.3T에서 측정하였다. 설계자속밀도가 17인 경우에는 10 groups/set의 경우를 제외하고는 주파

수 증가에 따른 철손의 급격한 증가는 나타나지 않았으며 1.3T에서는 5 groups/set를 제외하고는 주파수 증가에 따른 철손의 증가비가 커지고 있다. 이는 주파수와 설계자속밀도가 증가함에 따라 특히 높은 설계자속밀도의 경우에 설계자속밀도 이상의 과자속밀도의 크기가 커져서 철손의 급격한 상승과 자기저항에 의한 손실 때문인 것으로 사료된다.

4. 결론

소형 비정질 코어를 제작하여 joint부위의 영향에 대해서 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. butt-lap-step방식에서 최적의 ribbon/group수는 5에서 20까지 이었으며 이때 손실의 증가는 10%이었다. 그러나 ribbon/group이 30이상으로 증가하면 손실이 30%이상 커지게 된다. 이러한 이유로는 joint부위에 설계자속밀도 보다 높은 과자속밀도가 발생되기 때문인 것으로 생각된다.
2. butt-lap-step방식에서 최적의 ribbon/group수 5와 20에서 group/set의 최적 값은 5 이하 이었으며 그 이상에서는 손실이 매우 컸다.
3. 코어의 모서리 폭을 반경에 따른 손실은 큰 변화를 나타내지 않았다.

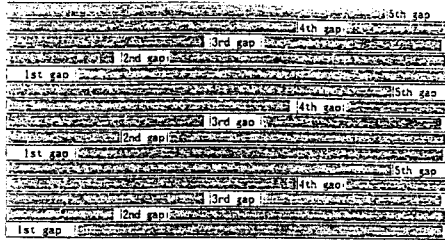


Fig. 1 Partial region of joint.

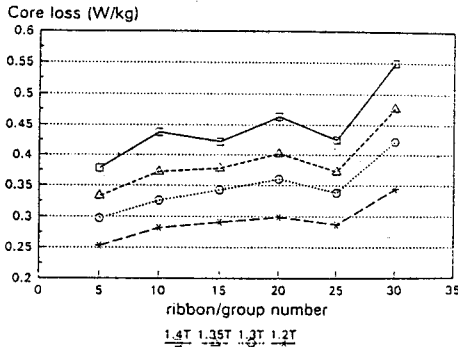


Fig. 2 Core loss of jointed core as a function of ribbons/group.

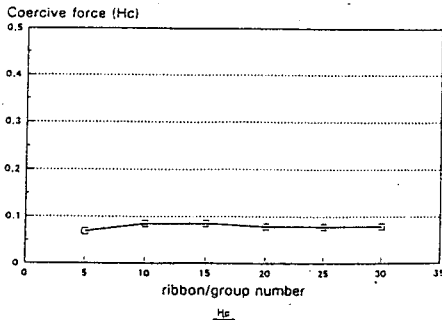


Fig. 3 Coercive force of cores as a function of ribbons/group.

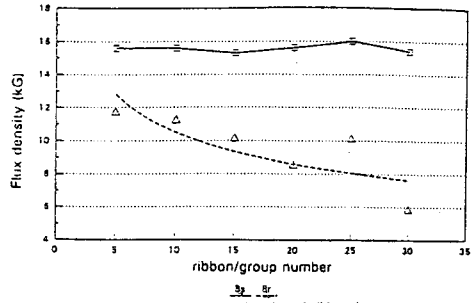


Fig. 4 Flux density of cores as a function of ribbons/group.

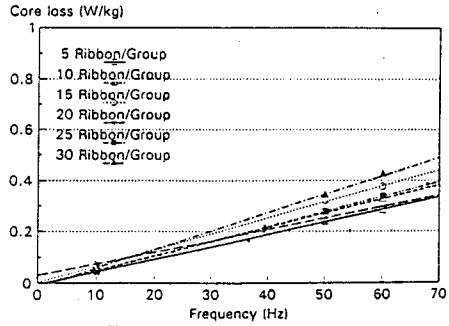


Fig. 5 Core loss of cores as a function of frequency.

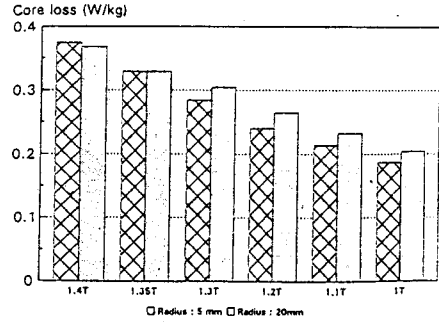


Fig. 6 Core loss of core with different radius.

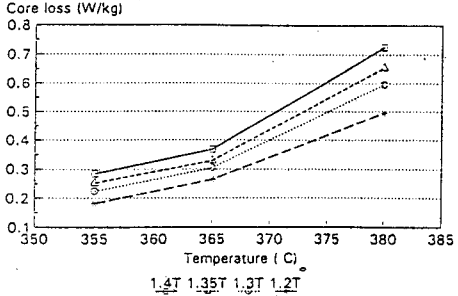


Fig. 7 Core loss of cores as a function of annealing temperature.

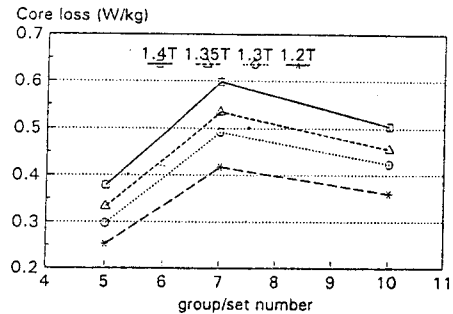


Fig. 8 Core loss of jointed cores as a function of group/set. (5 ribbon/group)