

주상 변압기용 비정질 코어의 자장인가 코일 제작

송재성*, 정순종, 김기욱, 김병걸, 황시돌*, 정영호*

한국전기연구소, *전력연구원

Magnetic Field annealing apparatus for Clamped Amorphous Transformer Core

Jae-Sung Song*, Soon-Jong Jeong, Ki-Uk Kim, Byung-Geol Kim,

See-Dole Hwang*, Young-Ho Jeong*

Korea Electrotechnology Research Institute, * Korea Electric Power Research Institute

Abstract

In amorphous transformer core, magnetic field annealing is required for inducing uniaxial magnetic anisotropy to circular direction of the core. Generally annealing temperature is about 400°C, so insulator using in solenoid bed must have a high temperature stability, mechanical strength and good machinability. In this study, we made the magnetic field annealing apparatus using insulators, conductors, connectors and power supply. And then tested the apparatus in annealing process of 50 kVA amorphous transformers.

1. 서 론

비정질 리본은 리본 제조 공정상 제조된 리본에 큰 잔류 응력을 남긴다. 잔류응력은 자기특성을 저하시키는 요인으로 작용하기 때문에, as-quenched 상태의 리본 혹은 그 리본을 이용하여 만든 코어는 잔류응력 제거를 위한 열처리가 필요하다. 변압기 코어 재료로 이용하는 비정질 리본은, 자기적으로 동방성을 가지고 있지만 실제로 코어로 가공하여 이용할 때는 리본 길이 방향으로 자속이 접속되어야 손실을 줄일 수 있으므로 그 방향으로의 자기이방성을 형성시키는 것이 유용하다. 리본 길이 방향으로의 유도자기이방성을 형성시키기 위해서는 용액제거 열처리후 냉각과정에서 리본길이 방향으로 180 도 자구가 형성되도록 해주어야 하는데, 이는 리본 길이 방향으로 충분한 크기의 자장을 인가하므로 가능하다. 자장인가 방법은 400°C 정도의 고온에서 견디고, 작업성이 양호해야 하고, 내구성이 좋아야 한다. 자장을 발생하는 방법은 솔레노이드를 이용하는 방법, 전자석을 이용하는 방법이 있으며, 슬레이드를 이용하는 방법에는 일반 솔레노이드를 이용하는 방법과 Helmholtz coil을 이용하는 방법이 있는데, 본 연구에서는 경제성, 작업성을 고려하여 비정질 변압기용 코어를 자장증 열처리하는데 적합한 자장인가 장치를 고안하여 적용시험을 하였다. 절연재로는 고온에서 비교적 안정한 석고 보드를 이용하고, 동판 및 나비모양의 볼트를 이용한 코일도 조립식 자장인가 코일부를 제작하였으며, 이렇게 제작된 자장인가 코일부는 직렬 혹은 병렬로 연결하여 여러 개의 비정질 코어를 한꺼번에 열처리하는데 이용되었는데 코어 수에 따라 요구전류가 다르므로

연결방법과 연결갯수는 열처리로 및 DC power supply 의 용량 그리고 자장인가 코일로 사용된 동판의 특성 및 육기와 상관이 있다. 자장코일 내부에 있어서의 전류의 크기에 따른 자장의 크기의 변화는 Gauss meter를 사용하여 측정하였는데 이론치와 약간의 차이가 있었는데 이는 자장인가 코일의 형상의 영향으로 생각된다.

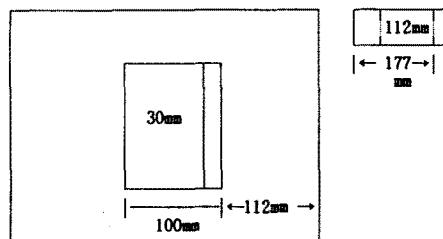
2. 실험 방법

2.1 자장인가 장치의 설계

2.1.1 퍼시풀 비정질 변압기의 사양

형상 및 크기

나. 아몰퍼스 변압기 규격



용량 : 12600V/460-230V

설계자속밀도 : 12,800 Gauss

V/turn : 5.75

권선방법 : 코어 양다리에 삽입

1차 코일 수 : $1,200 \times 2 = 2,400$

(13,200, 13,800, 12,000, 11,400 Volts)

2차 코일 수 : $40 \times 2 = 80$

설계 친심 중량 : 119.3 kg

점적률 : 85 %

권선 : 1차 : 1.1 mm x 1.4 mm

2차 : 2.8mm x 8.0mm

동선의 비지항 : $1.67 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$

2.1.2 자장인가 조건

Solenoid에 의한 자장인가

인가자장 : 10 Oe 이상

(비정질 코어에 걸리는 자장의 세기)

2.1.3 구성 방법

자장인가 코일은 조립, 분해를 용이하게 하기 위하여 가능한 한 단순한 형태로 구성하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 절연재로서 내열성이 좋고 가공이 용이한 석고보드를 사용하였으며, 절연판 지지대는 스텐레스 비자성강을 이용하였다. 자장인가를 위한 도체로는 동판을 일정크기로 절단하여 끝부분에 흙을 내어 나비모양의 너트로 서로 연결해 나가는 방식을 도입했다.

2.1.4 자장인가 실험식

비정질 코어 내부에 10 Oe 이상의 자장이 걸리도록 자장인가 코일에 외부자장을 인가해주어야 하는데, 외부 자장의 세기는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$H = \frac{4\pi NI}{10l_m}$$

여기서 H : external field (Oe)

N : number of coil turns

I : magnetizing current (A)

l_m : average magnetic path length (m)

여러 개의 비정질 코어를 동시에 자장중 열처리할 때, 각 코어의 자장인가 코일(solenoid)을 직렬로 연결하는 방법과 병렬로 연결하는 방법이 있는데, 50 kVA급 비정질 변압기용 코어(자로 길이 73cm)의 경우 코일 턴수를 20회 감았을 때, 위의 식으로부터 직렬연결의 경우 17A의 전류를 흘려 주면되고, 병렬연결의 경우 코어 1개당 17A의 전류를 흘려주어야 하므로 여러 개의 비정질 코어를 열처리하려면 매우 큰 용량의 power supply가 필요하다.

2.2 자장인가 장치의 제작

2.2.1 사용 재료

직류 전원 장치 : 220V/100A

절연판 : 석고 보드

동판 : 순동, 베릴륨동

조인트 부품 : 이중암착 스프링, 스텐레스 볼트와 너트, 핀 등

2.2.2 제작시 유의 사항

가. 간단한 jacket형태가 바람직하다.

나. 무부하상태이므로 전압은 낮고, 전류는 많이 흘릴 수 있어야한다.

다. 솔레노이드는 최소한 20 회 이상 감아야한다.

라. 다중형성이 용이해야한다.

마. 조인트 부위에서의 손실이 적어야 한다.

바. 솔레노이드 코일이 고온에서 열팽창으로 인하여 늘어 질 수 있음을 명심해야 한다.

사. 고온에서의 절연물의 열화가능성을 염두에 두어야한다.

아. 저항의 증가로 코일의 길이에 제한이 있다.

자. 비정질 코어의 배치에 따른 변수를 고려해야한다.

차. 고온에서의 전류감소와 전압증가에 따른 영향을 고려 해야한다.

타. 코일과 코일 사이의 연결부위에서의 발생 가능한 문제점을 생각해야한다.

2.2.3 자장인가 장치의 제작

비정질 코어의 사양을 고려하여, 석고 보드 및 동판, 스텐레스 볼트와 너트를 가공하였다(그림 1참조). 준비된 부품을 이용하여 자장인가 장치를 구성하였는데, 우선 비정질 코어의 양면에 석고 보드를 대고 스텐레스 볼트와 너트를 이용하여 움직이지 않도록 고정하였다. 그 다음 미리 가공된 동판을 나비 모양의 너트를 이용하여 코일 형상으로 만들었는데, 비정질 코어없이 자장인가 부분만 조립한 것을 그림 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

제작된 자장인가 코일 형률에 전류를 가하면서 코일 내부의 각 위치에서의 자장의 세기를 가우스 메터를 이용하여 측정하였다. 자장인가장치 코일 내부의 형상을 그림 3에, 코일 내부의 각 위치에서의 전류변화에 따른 자장의 세기의 변화를 그림 4, 그림 5, 그림 6에 나타내었다.

그림에서와 같이 실제 측정된 자장의 세기가 이론상의 값보다 작은데, 이는 코일 형률에 만들어진 솔레노이드가 불균형을 이루기 때문(형률의 길이/ 솔레노이드의 지름 < 10)으로, 실제로 이론식에서는 17A의 전류를 흘려주었을 때 형률내부의 자장의 세기가 10 Oe 이어야 하나, 측정값은 23 A의 전류를 가했을 때에야 10 Oe의 자장을 형성하였다. 이런 구조적인 문제점이 있으므로 실제로 이 자장인가 장치를 이용할 때는 이를 고려하여야 한다.

형률내부에서의 자장의 세기의 실측치가 이론치에 비하여 적게 나타났지만, 코일 형률이 폐회로를 구성하고 있는 관계로 형률내부에서는 측정위치에 따라서 거의 차이가 없었다. 하여튼 반복적으로 사용할 수 있고, 분해 조립이 간편할 뿐만 아니라 비용도 그다지 들지 않는 자장인가 장치를 구성하였으며, 실증시험 결과도 대체적으로 만족할 만한 수준이라고 생각한다.

4. 결론

50kVA급 비정질 변압기용 코어 8 개를 동시에 자장중 열처리 할 수 있는 자장인가 코일을 제작 실증시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 석고보드, 동판, 스텐레스 볼트와 너트를 이용하여 경제적이고, 분해조립이 편리하며, 내구성이 있는 자장인가 코일을 제작하였다.

나. 자장인가 방법은 power supply의 용량을 고려하여, 병렬보다는 직렬형으로 인가하는 것이 바람직하다.

다. 실증시험결과 코어 형률내부의 자장의 세기는 이론치보다 작았는데, 이는 솔레노이드의 길이와 지름간의 불균형에 기인한 것이며, 형률내부에서의 자장의 세기의 균일도는 만족할만한 수준이었다.

라. 자장중 열처리시 자장인가 형률이 구조적으로 견디지 못하기 때문에 자장인가 코일에 비정질 코어의 하중이 걸리지 않도록 배치를 하여야한다.

참고 문헌

- D. J. Balet, L. A. Lowdermilk, and A.C. Lee, J. Magn. Magn. Mat 54-57 1618 (1986)
- H. H. Liebermann, IEEE Trans. Magn. MAG-17, 1826 (1981)
- US patent 4,709,471 Dec. 1, 1987
- M. Chiampi, A. L. Legro, M. Tartaglia, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-19, No. 4, July 1983
- T. Nakata, N.Takahashi and Y. Kawase, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-18, No. 6, Nov. 1983

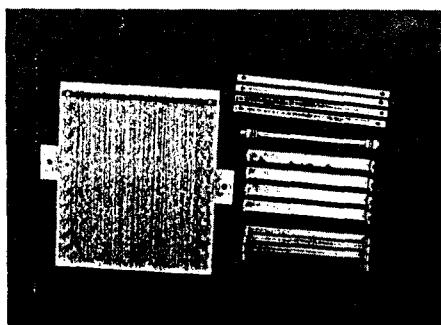


Figure 1. The parts of magnetic field induced coil system.

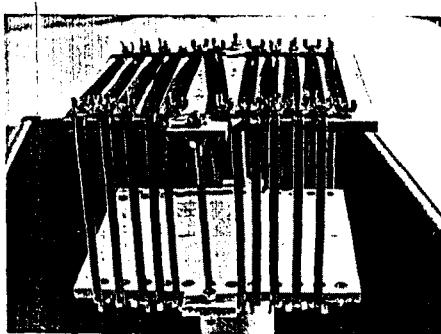


Figure 2. Fabricated coil system inducing magnetic field.

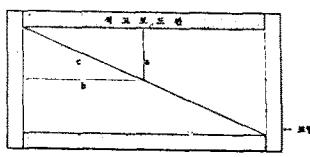


Figure 3. The interior of coil system inducing magnetic field.

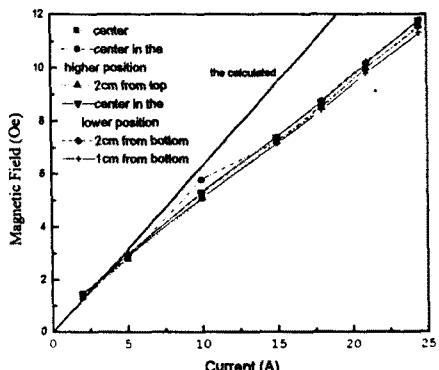


Figure 4. The change of magnetic field with a function of current from center to (a) direction.

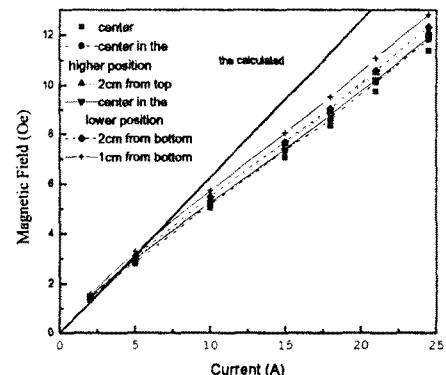


Figure 5. The change of magnetic field with a function of current from center to (b) direction.

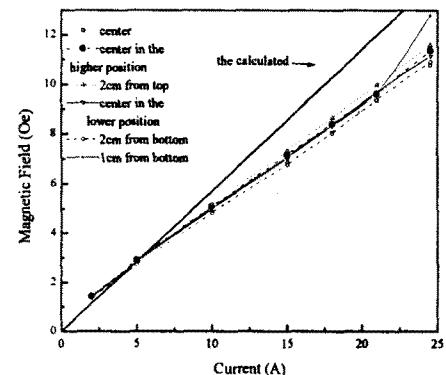


Figure 6. The change of magnetic field with a function of current from center to (c) direction.