

## 주상 변압기용 비정질 코어의 클램핑압력에 따른 자기 특성의 변화

송재성\*, 정순종, 김기욱, 김병걸, 황시돌\*, 정영호\*

한국전기연구소, \*전력연구원

### Magnetic Properties of 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

The manufacturing process of the amorphous transformer core consists of winding, cutting, forming, annealing. Clamping of cores during this process are required for shape forming. Clamping of cores enhances the space factor, but degrades the magnetic properties and core loss characteristics of the cores. In this study, we investigated the optimal clamping pressure required in magnetic field annealing of 5 kVA amorphous transformer core.

#### 1. 서 론

비정질 변압기의 코어를 제작할 때, 코어의 점적률을 높이고 공정기간동안 형상을 유지하기 위하여 클램핑을 하는데 변압기 조립작업전까지 유지시킨다. 변압기 조립공정에서도 코어지지 및 코일 조인트 유지를 위하여 최소한으로 쇠줄을 이용한 클램핑을 하는데, 본 연구에서는 변압기 조립작업전까지의 클램핑, 즉 자장중 열처리시의 클램핑압력이 비정질 코어의 자기 특성에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 클램핑 압력이 중요한 것은 클램핑이 비정질 코어의 형률을 잡아주고 점적률을 높여주는 순기능이 있는 반면 비정질 재료에 기계적인 용력을 가하여 자기특성을 저하시키는 역할을 하기 때문이다. 따라서 위에서 언급한 순기능과 역기능을 잘 조화시켜 최적의 조건을 찾아내는 것이 본 연구의 목적이다. 클램핑은 cutting된 비정질 리본을 shaping한 후 스텐레스 휨틀을 이용하여 하였으며, 클램핑압력은 휨틀을 조이는 볼트의 torque와의 상관관계로 간접적으로 측정하였는데, 자장중 열처리시의 클램핑압력에 따른 직류자기특성의 변화, 여자 전류의 변화, 손실특성 등을 고찰하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 시료 준비 및 제작

비정질 리본은 미국 Allied Signal 사의 Fe78B13Si9 (상품명 Metglas TCA, 리본 폭 170mm, 두께 23μm)을 사용하였다. 약 5kVA급의 비정질 cut 코어를 제작하여 자장중 열처리시의 clamping압력 변화에 따른 자기특성의 변화를 고찰하기 위하여 그림 1과 같은 공정도로 시료준비를 하였다.

###### 2.1.1 Winding

구매한 비정질 리본은 무게 약 700 kg, 지름 1m로 취급하기가 곤란하여 비정질 리본의 가공에 편리하도록 uncoiler를 제

작하여 이용하였다. 5kVA 용량의 비정질 변압기를 제조하기 위해 필요한 양인 1500 회를 recoiler를 이용하여 원형 보빈에 winding 하였다.

###### 2.1.2 Cutting

Abrasive wheel을 이용하여 cutting 하였다. 이 방법은 새로 개발된 knife cutting 방법에 비하여 작업환경, 절단면의 품질에 있어서 열세이나 작업속도, 작업의 용이성에서는 여전히 우수한 방법이다.

###### 2.1.3 Core shaping

절단된 비정질 코어를 가지런히 펼쳐놓고, 가로 100mm, 세로 230mm, 모서리 곡률반경 230mm의 스텐레스 보빈을 그위에 올려놓은 다음 shaping을 하였다. shaping후 감은 리본을 지지하기 위하여 그 위에 규소 강판을 씌우고 스텐레스 휨틀을 이용하여 clamping하였다.

###### 2.1.4 자장중 열처리

비정질 코어의 원주 방향으로 자기이방성을 형성시키기 위하여 자장중 열처리를 하였다. 열처리 온도 및 자장의 인가방법은 그간의 연구결과를 토대로 결정하였는데 그 조건은 다음과 같다.

열처리 온도 : 승온 및 냉각 속도 10°C/min, 유지온도 360°C, 유지시간 4 시간

자장인가 방법 : solenoid를 이용하여 코어의 원주방향으로 자장이 걸리도록 함

자장의 세기 : 10 Oe

##### 2.2 특성 평가

###### 2.2.1 B-H 특성

B-H meter를 이용하여 시료의 직류자기 특성을 평가하는데 시험조건은 다음과 같다.

$$H < \frac{4\pi N I}{10}$$

여기서 H : external field (Oe)

N<sub>1</sub> : primary turns (60 turns)

I : magnetizing current

$$N_2 AB > \frac{\varphi \times t}{e} = 10^5$$

여기서 N<sub>2</sub> : secondary turns (20 turns)

A : cross section area of specimen

B : maximum flux (20 kG)

$\phi$  : flux change ( $10^2$  Maxwell/min)  
 $t$  : time (1 min)  
 $e$  : error range (0.1%)

### 2.2.2 철손

철손은 시료를 bobbin에 감아서 power meter를 이용한 V-A-W법을 이용하여 측정하였는데 측정방법은 다음과 같다.

$$E_f = 4.443 \times N_2 A B f (V)$$

여기서  $E_f$  : flux voltage

$N_2$  : secondary turns

A : cross section area of specimen ( $m^2$ )

B : measuring flux density (T)

f : frequency (Hz)

윗식에 의하여 계산된  $E_f$  값과 코어의 2차 코일에 연결된 average type flux voltmeter의 값이 일치하도록 1차 코일에 흐르는 전류를 조정하여 그때의 power meter 값을 읽어 아래의 식에 의하여 계산한다.

$$\text{Core loss (W/kg)} = \frac{P \times N_1}{M \times N_2}$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Clamping 압력의 발생

Clamping후 자장중 열처리를 하여야하기 때문에 코어와 퀼트사이에 압력 sensor를 넣어 압력을 측정하는 것이 불가능하였다가 때문에, clamping압력의 변화를 퀼트를 조이는 bolt의 torque의 변화로 환산하여 측정하였다. 코어를 조이는 두 개의 guide사이에 스트레인 게이지지를 넣고 guide의 양단을 볼트로 조여서, 볼트를 조일때의 torque와 스트레인 게이지가 받는 압력사이의 관계를 구하여 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 torque 압력과 clamping압력은 1차함수적인 관계를 가지고 있다.

#### 3.2 점적률의 변화

Clamping압력변화에 따른 코어 점적률의 변화를 그림 3에 나타내었다. 클램핑압력이 커짐에 따라 점적률이 서서히 증가하다가, 클램핑 압력이  $3kg/cm^2$  이상일 때 88%정도로 포화되는 것을 알 수 있다. 비정질 코어의 점적률이 규소강판 코어의 그것에 비하여 상대적으로 작은 것은 비정질 리본의 두께가 20  $\mu m$  정도로 규소강판의 1/10 이하이기 때문으로, 비정질 재료를 변압기 코어로 이용할 때의 불리한 점의 한 가지이다. 결국 점적률측면에서만 본다면 클램핑 압력은  $3kg/cm^2$  가 적합하다고 볼 수 있다.

#### 3.3 철손

클램핑압력에 따른 비정질 코어의 철손변화를 그림 4에 나타내었다. cutting 코어인 본시료는 non-cut toroidal 코어에 비하여 상대적으로 큰 철손 값을 가지고 있다. 이는 cutting gap에 의하여 자속의 흐름이 단절 혹은 편향적으로 되기때문이며, 매끄럽지 못한 절단부위의 영향도 있을 것으로 생각된다. 클램프 압력이 증가함에 따라  $3kg/cm^2$  까지는 철손이 증가하다가 그 이상의 압력에서는 거의 같은 값을 가지는데, 이는 점적률에서와 같이  $3kg/cm^2$  이상의 압력에서는 비정질 코어에 더 이상의 압력이 가해지지 않기 때문으로 사료된다.

#### 3.4 직류 자기 특성

클램핑압력 변화에 따른 비정질 코어의 직류 자기 특성의 변화를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5는 클램핑압력에 따른 보자력의 변화를 나타낸 것으로 0.033 Oe로 거의 일정한 값을 가지고 있었고, 클램핑압력에 따른 포화자속밀도의 변화도 조사했는데 그림 5의 보자력 변화와 마찬가지로 15.5kG로 클램핑압력에 거의 영향을 받지 않았다. 그러나 그림 6에서

보는 바와 같이 전류자속밀도는 클램핑압력이 증가함에 따라 거의 직선적으로 감소하고 있다. 리본 수직방향의 용력이 리본의 투자율을 크게 떨어뜨렸기 때문이며, 히스테리시스 손실을 크게 하는 요인으로 작용한다.

#### 3.5 여자 전류의 변화

클램핑압력에 따른 여자전류의 변화를 그림 7에 나타내었다. 측정 자속밀도가 커질수록 여자전류는 크게 증가하였고, 클램핑압력이 커짐에 따라 여자 전류도 직선적으로 증가하였는데 이는 압력이 증가함으로 인하여 직류자기 특성에서 언급한 바와 같이 투자율이 감소하고 그 결과로 여자 전류가 커지기 때문인 것으로 생각된다.

### 4. 결론

5kVA급 비정질 주상 변압기용 코어를 cut core 방식으로 제작하여, 자장중 열처리시 클램핑압력의 변화에 따른 자기 특성의 변화를 고찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

가. 클램핑압력이 증가함에 따라  $3kg/cm^2$  까지는 철손도 직선적으로 변하였으나 그이상의 압력에서는 거의 변화가 없었다.

나. non-cut toroidal core에 비하여 cut core의 철손이 상대적으로 큰데 이는 cutting gap에 의한 자속흐름의 단절 및 왜곡, 매끄럽지 못한 절단면 등에 기인하는 것으로 사료된다.

다. 보자력과 포화자속밀도는 클램핑압력의 변화에 상관없이 각각 0.033 Oe, 15.5kG로 거의 일정한 값을 갖는 반면, 전류자속밀도는 클램프압력이 증가함에 따라 거의 직선적으로 감소하였다.

라. 클램핑압력이 증가함에 따라 여자전류가 크게 증가하는데 이는 압력이 증가함에 따라 리본의 투자율이 감소하기 때문인 것으로 여겨진다.

### 참고 문헌

1. US patent 4,709,471 Dec. 1, 1987
2. M. Chiampi, A. L. Legro, M. Tartaglia, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-19, No. 4, July 1983
3. T. Nakata, N. Takahashi and Y. Kawase, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-18, No. 6, Nov. 1983
4. G.E. Fish, IEEE Trans. Magn., MAG-21, 1996(1985)

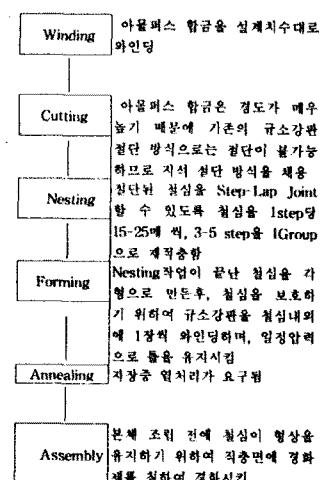


Figure 1 The schematic diagram of amorphous transformer fabrication

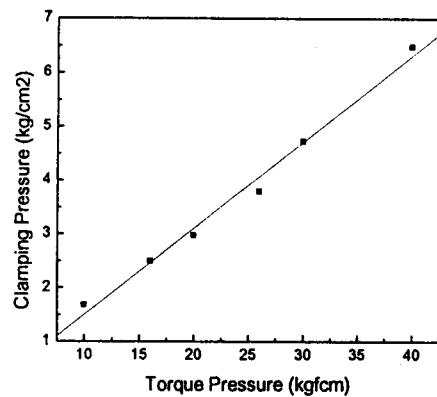


Figure 2. The relation of clamping pressure with torque pressure.

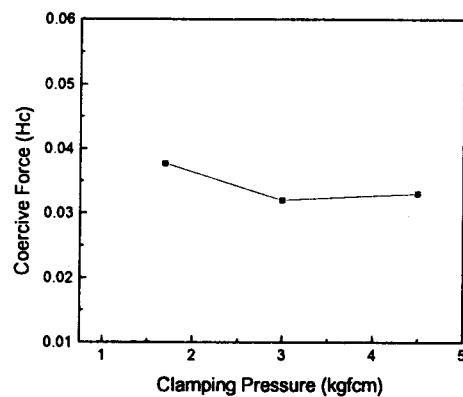


Figure 5. The change of coercive force with a function of clamping pressure.

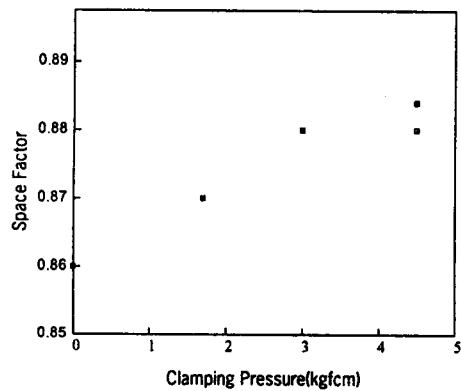


Figure 3. Dependence of space factor on the clamping pressure.

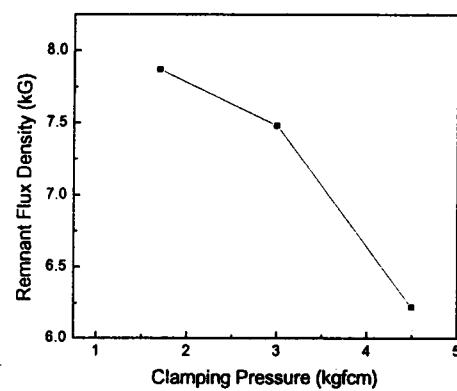


Figure 6. The change of remnant flux density with a function of clamping pressure.

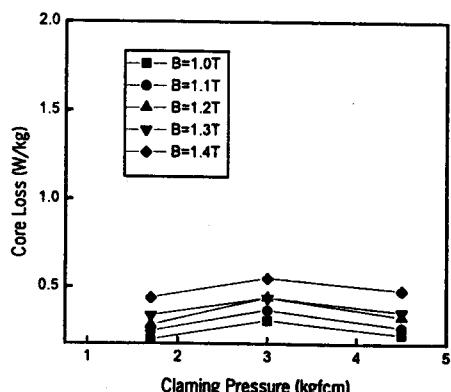


Figure 4. The change of core loss with a function of clamping pressure.

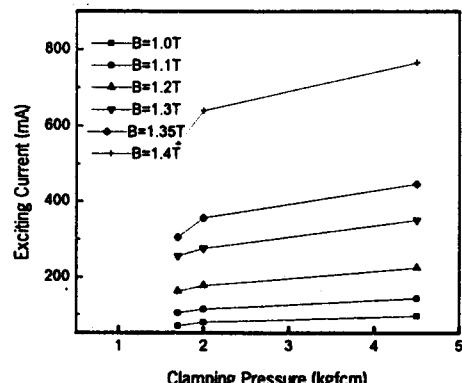


Figure 7. The change of exciting current with a function of clamping pressure.