

와전류 손실을 적용한 금형으로 제조된 초고압 변압기의 프레스보드의 절연 특성 연구

서왕벽^a

영남대학교 기계공학부

A Study on the Insulating Properties of Pressboard for High Voltage Transformer Applied the Mold of Eddy Current Loss

Wang-Byuck Suh^a

Department of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

(Received July 11, 2015; Revised July 24, 2015; Accepted July 24, 2015)

Abstract: Some insulating materials are tested and analyzed with variables to obtain the reliable pressboard which is located to core and coil of high voltage transformer. The high voltage transformer is used in electrical power system and operating reliability. Optimization possibility of pressboard shape including electrical insulation performance could be achieved by analysis simulation. Using insulating pressboard, which is made by mold applied eddy current loss, it could be measured the influences of moisture content for electrical properties. As a result, it is to contribute to improve the performance and ensure the reliability of the pressboard by investigating electrical strength according to the variation oil temperature. In addition pressboard thickness is important design factor to ensure electrical strength in high voltage transformer.

Keywords: Pressboard, Breakdown voltage, Partial discharge, Test chamber, Mold, Eddy current loss, Transformer

1. 서론

최근의 전력계통 초고압 분야에서 154 kV급 이상의 변압기에 대한 성능과 수명에 직접적인 영향을 미치는 열화 메커니즘 분석에 의한 물리적 특성 연구의 중요성이 점차적으로 높아지고 있는 추세에 있다 [1,2]. 이를 기반으로 초고압 변압기는 계통에서 차지하는 중요도의 비중이 날로 증가되고 있어 신뢰성, 저소음과 경량화 측면에서도 연구 범위가 확대되고 있다 [3,4].

초고압 변압기를 구성하고 있는 절연재에는 운전 중에 주기적으로 점검과 교체가 가능한 액체 절연 부품인 절연유가 있다.

반면에 운전 중에 교체가 불가능한 고체 절연부품으로 열적 응력, 수분, 산도 등에 직접적으로 열화가 발생하는 클램프 링 타입의 프레스보드가 있다. 프레스보드는 주로 습지를 겹쳐서 적정한 압력을 부가하는데 본 연구를 통하여 개발한 와전류를 이용하여 프레스 금형에 가하여 제조한 제품으로서 절연유에 함침되어 있는 유중상태에 있으며 이로 인하여 습기 또는 수분 형태가 발생할 시 절연파괴의 원인이 될 수 있는 취약점을 갖고 있다. 따라서 이러한 열화가 되는 제품들은 곧 초고압 변압기의 수명과도 직접적인 연관이 되기도 한다 [5,6]. 고체 절연재의 대표적인 프레스보드는 초

a. Corresponding author; swbyuck@yu.ac.kr

고압 변압기의 1차권선과 2차권선, 필요 시 탭 권선부의 상·하단에 각각 취부하여 사용하게 되고, 이를 통하여 초고압 권선과 타 권선 및 대지간의 전계 집중을 완화시켜 절연 파괴 등 사고를 효과적으로 방지할 수 있게 하는 기능을 갖고 있다 [7].

본 논문에서는 초고압 변압기의 중심 코어로부터 일정 거리로 떨어져 있는 프레스보드를 최적의 성형 제조 공정으로 제작하고, 성형된 프레스보드가 운전 중에 표면에 가해지는 전계강도를 모의 분석하여 변압기의 수명을 향상시키는 방안을 구하고자 하였다. 그리고 프레스보드와 절연유는 구조적으로 수분을 함유하고 있는 단점을 갖고 있기에 변압기 운전 중에 절연유의 온도 변화가 프레스보드 절연물의 흡습률과 전기적인 강도 변화가 어떠한 형태로 변화되는지 시험을 실시하여 분석하고, 그 결과를 가지고 초고압 변압기의 프레스보드의 내구성 향상 방안을 제시하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 프레스보드 모델링 및 제조

본 논문에서 프레스보드는 그림 1과 같이 굴곡진 부분의 매끄러운 형상을 유지하기 위한 외형설계로 진행하였다. 3축으로 동시에 굴곡을 받고 있는 상태에서 굴곡부의 강도를 증가시키면서 프레스보드 내부의 조직층이 슬립 현상을 갖지 않는 구조의 형태로 하였다.

프레스보드를 성형하기 위한 금형은 그림 2와 같이 와전류 손실을 이용하여 금형을 가열하는 방법을 채택하였다. 이러한 방법은 와전류 손실을 이용하여 금형에 빠른 속도로 온도를 가열할 수 있으며 프레스보드 성형물에 포함되어 있는 물 분자를 진동시켜 금형의 가열 효과를 높이고 수분 제거 속도를 향상시킬 수 있기 때문이다. 추가적인 효과로는 프레스의 가압력도 증가시킬 수도 있다. 상부와 하부의 금형에 대하여 와전류를 발생할 때 반대 극성을 인가하여 전자석의 인력 작용을 부가 이용할 수 있기 때문이다.

Table 1. Test parameters for moisture contents.

Condition	Temperature (K)	RH (%)
Non-oiled	65	50
Oiled	65	50

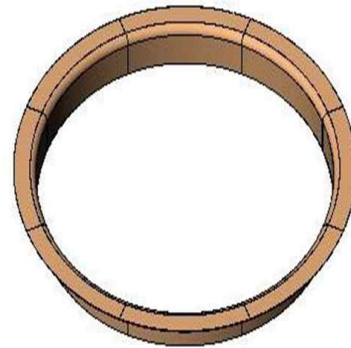


Fig. 1. Geometry of 8 segmented pressboard for modeling

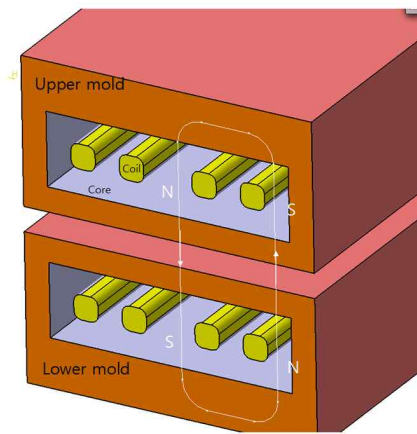


Fig. 2. Section view of mold by applying eddy current loss method.

2.2 프레스보드 흡습률 실험

프레스보드의 시편은 105°C로 48시간 동안 온도를 유지시켜 프레스보드 내부의 수분을 완전히 제거하였다. 시편의 형태는 프레스보드의 굴곡진 부분을 채취하여 시료를 만들고, 정밀 질량 측정기를 사용하여 중량을 측정하였다. 초고압 변압기에 사용되는 절연유에 함침된 것과 함침되지 않은 기중 내에 있는 조건을 이용하여 시편에 각각의 온도와 습도 변화를 주어 흡습률을 일정한 시간별로 측정하였으며 시험 조건에 대해서는 표 1에 표기하였다.

설정된 온도 범위의 조건은 초고압 변압기의 온도 상승 허용 범위 중 권선부에서는 최고 65°C이며, 주위 평균 온도 25°C를 더하여 평균 최고 권선온도인 90°C에 따라 온도 범위를 설정하는 조건으로 하였다.

2.3 프레스보드 유중 절연 실험

프레스보드가 절연유에 함침 되어 있는 상시 상태에서 절연유가 함께 가열되었을 때의 운전 상태인 프레스보드를 두께별로, 절연유의 온도별로 각각 절연내력인 내전압 값을 측정하여 비교하였다. 프레스보드의 굴곡진 부분에서 채취된 시편을 주변 온도 25°C 상태에서 7일간 시험용 챔버 내에서 절연유에 함침한 후 최고 65°C의 상태로 가열하여 온도 변화에 따른 부분방전 값을 측정하여 변화 추이도 분석하였다.

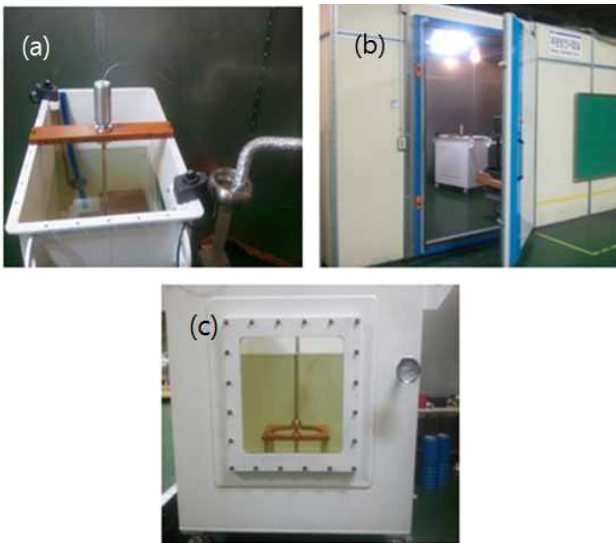


Fig. 3. Potential discharge and breakdown voltage test utilities. (a) PD test, (b) PD test room, and (c) heat test chamber.

실험의 오차 측정을 줄이기 위하여 별도의 챔버를 그림 3과 같이 제작하여 온도 변화에 대한 편리한 측정과 검사를 하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 프레스보드의 최적형상

그림 4는 변압기의 철심인 코어와 코일 사이에 있는 프레스보드의 반지름 변경에 따른 전계값의 특성을 해석한 결과이다. 설계변수를 변경하여 반복적인 해석을 통하여 반지름의 반경이 작아질수록 전계값은 증가하는 경향을 보였으며 성형 조건을 고려한 프레스보드의

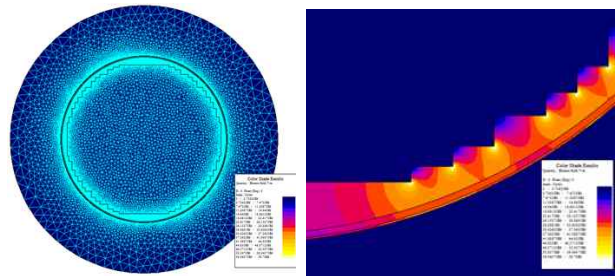


Fig. 4. Optimized pressboard profile between core and coil at high voltage transformer.

최적의 외형설계와 변압기 철심 부분에서의 전계값을 제어할 수 있는 모서리 부분에 라운드 처리를 함으로써 59×10^6 V/m의 최대값을 구하여 전계의 집중을 완화하는 결과를 도출하였다.

3.2 프레스보드의 흡습률 변화

그림 5는 상대습도 50%, 온도 상승 65°C인 환경의 실험 챔버 내에서 절연유에 함침되지 않은 기중상태와 함침된 유중상태의 프레스보드 흡습률을 각각 측정하고 비교한 결과이다. 흡습률은 프레스보드의 제조 성형 조건, 재료의 두께, 유중 여부의 조건에 따라 변화하는 것으로 확인되었다.

기중과 유중에서의 흡습률은 시간이 경과함에 따라 증가되지만 시간이 경과될수록 흡습률은 포화되는 것으로 측정되었고, 유중에서는 기중에서보다 약 0.85배로 흡습률이 저하됨을 확인하였다.

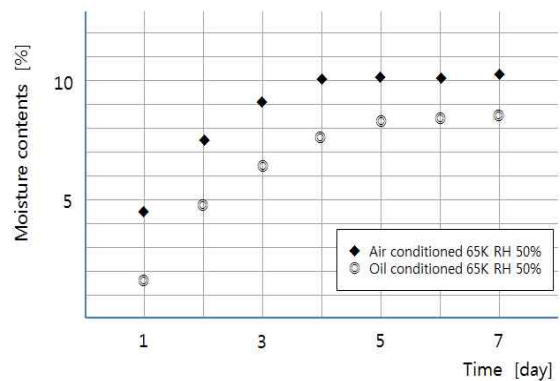


Fig. 5. Moisture contents in pressboard specimen at oiled and non-oiled conditions.

3.3 프레스보드의 유중절연 강도

그림 6은 유중 절연 환경에서 두께별 프레스보드를 절연유가 가열됨으로써 온도 변화에 따른 절연내력의 내전압 값을 측정된 결과이다. 일반적으로 프레스보드의 두께가 두꺼울수록 절연 내력은 강하였다. 그리고 절연유의 온도가 상승할수록 그 절연내력인 파괴 전압 값은 비례적으로 감소함을 나타내고 있다. 절연유가 상승하였을 때에는 프레스보드의 두께별 절연내력의 감소 값은 프레스보드가 1 mm인 경우는 23% 감소하고, 1.5 mm인 경우도 23%가 감소하였으며 프레스보드가 2 mm인 경우는 16% 감소하였다. 이러한 값들을 통하여 프레스보드의 두께는 초고압 변압기의 코어와 코일 내부의 최적의 형상을 통하여 충분히 확보해야함을 확인시켜 주었다.

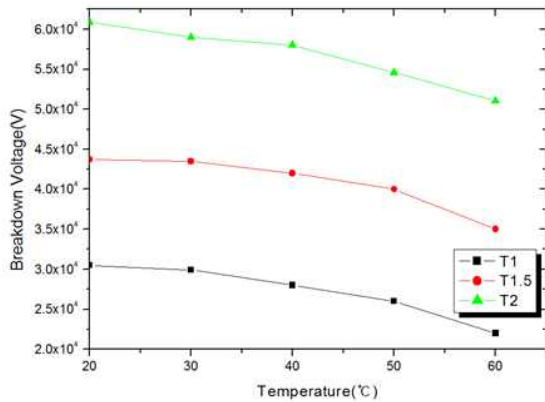


Fig. 6. Breakdown voltage with variation temperature and thickness on oiled condition pressboard.

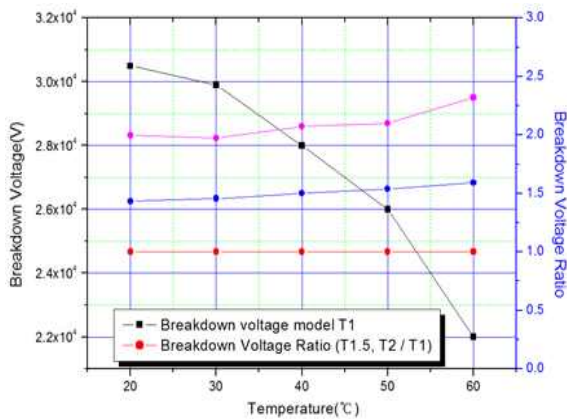


Fig. 7. Breakdown voltage ratio with variation temperature and thickness in condition oiled 1 mm pressboard.

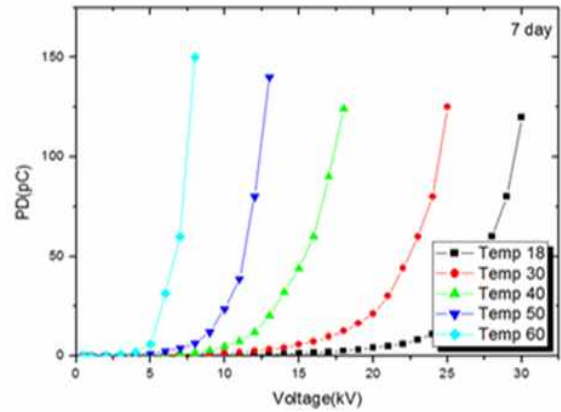


Fig. 8. Partial discharge values with variation oil temperature in pressboard.

그림 7은 그림 6의 실험 결과에 대하여 프레스보드의 두께를 기준으로 환산한 결과값이다. 실제로 온도 변화에 따른 절연내력은 감소하는데 프레스보드 1 mm를 기준으로 하여 1.5 mm와 2 mm를 각각 비교 분석하였을 때 40°C 이상에서는 오히려 두께가 2배 증가하였지만 내전압 값은 약 2.2배에서 2.4배까지 추가적으로 상승한 결과값을 구하였다.

그림 8은 유중 절연에서 프레스보드가 절연유의 가열되는 시간과 온도 변화에 따른 부분방전 변화량을 측정된 결과이다. 일반적으로 절연유의 온도가 상승할수록 부분 방전량은 낮은 전압과 많은 양의 방전량이 발생하고 있으며 통상적으로 유중 가열온도가 2배 증가 시 100 pC 기준으로 약 3.5배의 전압강하가 됨을 확인하였다. 즉 초고압 변압기의 온도 상승 허용범위 내에서 운전의 조건이 부분방전 값들을 낮출 수 있는 최선책으로 확인되었다.

4. 결론

초고압 변압기에 적용되는 프레스보드의 외형을 최적의 절연 조건으로 만족하는 형상으로 도출하고 최적의 성형 조건으로 제작되었다. 제작된 제품을 구조적으로 취약한 부분인 굴곡진 부분을 두께별로 시료를 채취하여 각각의 유중과 기중 사이에서의 전기적인 절연강도와 구조적인 흡습률을 도출하였다. 와전류 손실을 적용하는 금형 제작과 전계해석을 통한 최적의 형태로 제조된 프레스보드는 변압기의 운전상태를 모의하여 절연유에 함침

되었을 때 절연유의 온도 상승이 절연내력을 저하시켰고, 프레스보드 1 mm의 두께에서 2 mm로 2배 상승시켰을 경우 절연내력은 최대 2.4배 상승됨을 확인하였다. 이는 초고압 변압기를 설계할 경우 설계값 이상으로 절연 효과를 갖기 위해서는 프레스보드가 많이 적용될 수 있는 공간을 확보하는 요소가 중요한 설계 인자임을 확인하였다. 획득된 데이터들은 기본적으로 절연유의 온도 상승이 절연열화와의 위험 요소로 확인되었으므로 운전 중의 변압기 온도 상승 제어에 필요한 주변기기들과의 설계 개량을 실시하면 초고압 변압기의 내구 수명은 이보다 더 향상될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] B. S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **16**, 1136 (2003).
- [2] C. T. Dervos, C. D. Paraskevas, and P. Skafidas, *Trans. IEEE of EIM*, **22**, 11 (2005).
- [3] H. Yoshida, Y. Ishioka, and T. Suzuki, *Trans. IEEE of TEI*, **22**, 795 (1987).
- [4] H. Z. Ding, Z. D. Wang, and P. Jarman, *IEEE Trans. Inter. Conference on Solid Dielectrics, Aging and Moisture Effects on the AC Electrical Strength of Transformer Board*, 106 (2007).
- [5] H. Herman, *A New Approach to Condition Assessment and Life Time Prediction of Paper and Oil Used as Transformer Insulation* (IEEE ICSD, 2001) p. 473-476.
- [6] K. Giese, *IEEE FIM Electrical Strength of Pressboard Components for Transformer Insulations*, **12**, 29 (1996).
- [7] K. Kato, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, **13**, 362 (2006).
- [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TDEI.2006.1624281>]