

# 온도와 습도에 따른 초고압 변압기용 앵글링 프레스보드 특성

서왕벽 

영남대학교 기계IT대학 기계공학부

## Angle Ring Press Board Characteristic in Accordance with Temperature and Humidity for High Voltage Transformer

Wang Byuck Suh

Department of Mechanical Engineering, College of Mechanical and IT Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Korea

(Received November 13, 2019; Revised November 18, 2019; Accepted November 18, 2019)

**Abstract:** In this study, to develop angle ring pressboards for high voltage transformers, the radius and thickness are modified under the conditions of temperature and humidity. In particular, a pressboard with a thickness of 6 mm and a radius at the angled part were investigated based on the simulation of the principal stress from the angled optimization profile shape. As a result, by the appropriate application of a higher temperature, the solid insulation can be improved to reduce the moisture content for an optimized profile angle of a high voltage transformer. This also results in the improvement of the safety factor by 25%. It is determined that the electrical insulation properties of pressboards in high voltage transformers can be enhanced by improving their properties.

**Keywords:** High voltage transformer, Angle ring, Pressboard, Moisture contents, Principal stress, AC withstand voltage

### 1. 서론

초고압 변압기는 운전 중 이상전압이 인가되더라도 정상적으로 운전될 수 있는 절연물과 철심 그리고 권선으로 구성되어 있다. 절연물 또한 액체와 고체의 물성으로 구분되며 고체 절연부품에는 프레스보드로 구성된다. 또한 전로를 형성하는 권선에는 각 층마다 절연물이 삽입되어 있다. 변압기 권선은 권선의 저항 손 이외에 발생하는 권선의 두께에 비례하는 와전류 손실이 발생하며, 권선 모서리부에는 전계집중으로 절연이 취약해지는 구조로 되어 있기 때문에 앵글링(angle ring)형태의 프레스보드 절연물을 변압기 탭 권선부의

상하단과 1,2차 권선에 취부하여 절연거리를 효과적으로 줄여주는 동시에 전계집중을 완화시키는 역할을 하고 있지만 굴곡부 형상부에서 절연열화에 의한 소손이 발생하고 있는 실정이다 [1,2].

운전 중에 주기적으로 교체하는 액체의 절연유와는 달리 고체의 앵글링 프레스보드는 교체가 불가능하여 계통불안, 과부하 고온운전, 개폐서지에 따른 고체 절연재료의 산화가 일어나며 수분증가 현상에 따라 절연유 산가 증가가 재료의 열화가속을 일으켜 유기가스 발생, 코로나 발생 등 절연내력 저하가 발생하는 현상이 발생한다 [3,4]. 따라서 기계적 내력 및 전기적 내력에 열악한 조건에 노출되어 있어, 이는 곧 변압기의 수명과도 연관성을 갖게 된다 [5].

본 연구에서는 앵글링 프레스보드의 형상 굴곡부 취약점을 고려하여 형상 변화 조건에 따른 프레스보드 흡습 특성에 미치는 영향을 검토하고, 상온상태와 운전을 고려한 고온상태에서의 프레스보드의 흡습률 변화

✉ Wang Byuck Suh; [swbyuck@yu.ac.kr](mailto:swbyuck@yu.ac.kr)

를 각각 비교 검토하여 기계적·전기적 특성을 분석하고자 하였으며 보다 성능 면에서 향상된 앵글링 프레스보드 최적의 형상을 가진 초고압 변압기용 절연물 선택 가능성을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 적용 모델과 설계값 및 해석조건

해석에 사용된 앵글링 프레스보드의 형상은 그림 1과 같이 굴곡이 이루어진 부분의 반지름과 소재 두께 변화를 고려하여 선택하고, 최대 압축 성형이 최대한 가능한 두께 6 mm를 기준으로 기존의 3 mm와 비교하도록 하였다. 그리고 앵글링 길이를 최고로 갖는 길이의 50%의 곡률반경도 선택하여 경제형 앵글링 프레스보드의 생산 가능성을 검토하였다.

앵글링 프레스보드의 물성값에 대해서는 생산되고 있는 기본 값을 사용하고 본 해석에서는 프레스 성형 압력 값은 동일한 조건을 선택하였다.

해석을 통하여 그림 2와 같이 앵글링 프레스보드의 길이 변화에 따른 곡률반경과 두께가 미치는 영향이 최대 인장강도에 대하여 위험부위 요소를 파악하고 최대 응력 값을 확인하여 흡습율과 같이 전체 절연열화에 어느 정도의 영향을 가져가는지를 실험을 통하여 비교·분석·확인하고자 하였다.

해석에는 앵글링 프레스보드에 굽힘이 발생할 때 프레스보드 바깥 면에서는 인장과 안쪽 면에서는 압축을 동시에 받게 된다. 바깥 면과 안쪽 면이 변형률의 크기가 서로 같기 때문에 두께 변화를 무시한 변형률은

Table 1. Calculation parameters.

Classification / Angle ring type	I	II	III	IV
Thickness (mm)	6	6	3	3
Raius per length (%)	50	20	50	20
Permittivity	4.7			
Tensile strength (MPa)	8.5			
AC withstand voltage (KV/mm)	9.0			

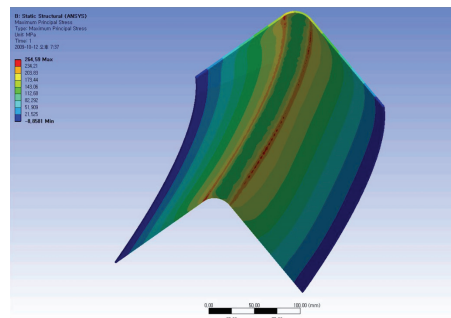


Fig. 2. Analysis of the angle ring model.

굽힘 이론의 변형이론 식 (1)을 활용하였다.

$$e_0 = \frac{1}{(2R/T)+1} \tag{1}$$

R : 곡률반경 [mm]

T : 프레스보드 두께 [mm]

### 2.2 실험조건

각각의 실험조건에 대하여 온도와 습도 세팅이 가능하고 동시에 앵글링 프레스보드의 흡습률을 비교 분석할 수 있도록 챔버 9개의 항온항습 시험용 장치를 구비하고, 각각의 조건에 흡습된 앵글링 프레스보드를 전기적 충격시험을 통하여 절연내력 실험 결과 값을 비교·분석하고자 하였다.

실험은 앵글링 프레스보드가 상온상태에서의 측정되어진 무게값을 기준으로 24시간 단위로 흡습률을 측정하고 흡습률이 포화가 될 때까지의 시간으로 실험을 진행하였다. 포화된 앵글링 프레스보드를 유중에서 절연실험이 되도록 챔버 내에 구형-구형 전극을 설치하고 약 0.05 MPa의 힘으로 전압을 2 kV/sec 일정한 속도로 상승시켜 절연이 파괴되는 전압을 측정하였다.

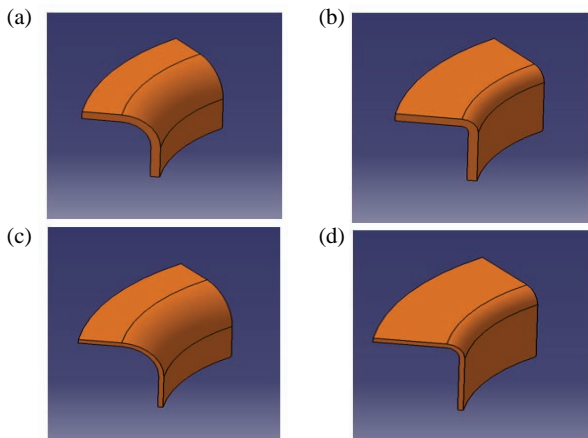


Fig. 1. Geometry of variations of angle ring for modeling.

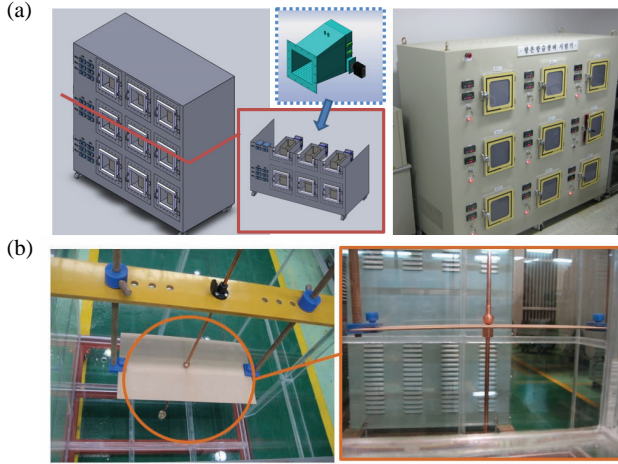


Fig. 3. Test utilities of constant temperature and humidistat and AC withstand voltage using variations of angle ring press board.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 해석 및 실험 결과

그림 4는 앵글링 프레스보드 형식 I, II, III과 IV를 설계 최고 인장강도 8.5 MPa 가하였을 때 앵글링 프레스보드의 최대 주응력값을 나타내고 그림 5에 결과 값의 추이를 표기하였다.

앵글링 프레스보드의 곡률반경 R이 작아질수록 최대 주응력 값도 작아지는 경향을 보여주고 있지만 최대 주응력 값이 250 MPa 범위에서 수렴한다. 따라서 신규 앵글링 프레스보드 II의 최대 주응력값이 기존 IV값에 ±5% 범위에 있으므로 앵글링 프레스보드의 최대 곡률반경을 길이의 50%의 범위 대역에서도 가능하여 기존에 2매를 사용하던 것을 1매로 축소 사용가능한 경제적 타당성의 가능성을 우선 확보하였다.

앵글링 프레스보드의 두께도 증가할수록 최대주응력 값도 증가됨을 보여주고 있으므로 기계적인 내구성만을 고려할 때에는 6 mm의 앵글링 프레스보드도 가능함을 볼 수 있다.

초고압 변압기의 온도상승 허용범위를 활용하여 권선부 최고 온도 90°C와 주위온도를 제외한 65°C를 기준으로 상대습도 25%를 설정하여 조건변경과 시간경과에 따른 흡습률 값을 측정하였다. 흡습률은 실험 결과로부터 재료두께, 오일 여부 상태에 따라 변하는 것으로 분석되었다.

그림 6에서 흡습률은 같은 기중 조건하에서 프레스보드의 두께의 2배 증가에 따라 25% 이상 감소함을

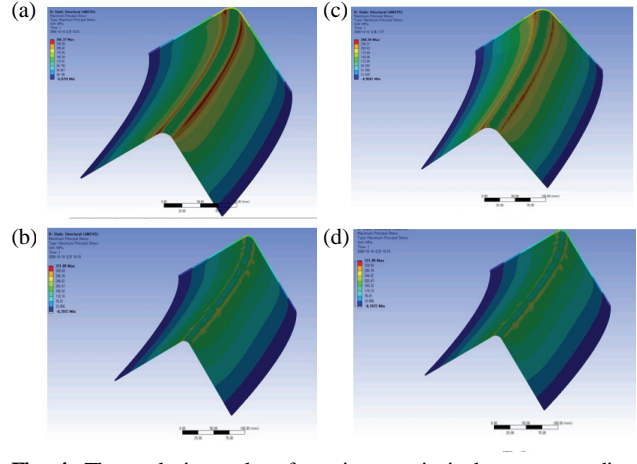


Fig. 4. The analysis results of maximum principal stress according to variation of radius and thickness with I, II, III, and IV.

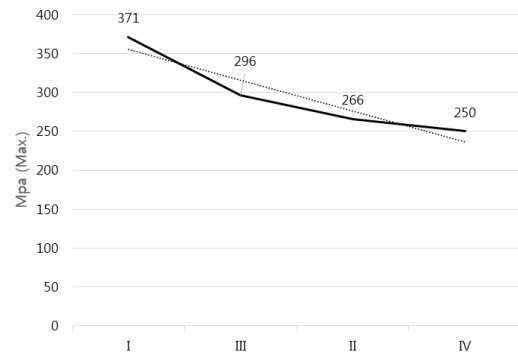


Fig. 5. Relationship between the maximum principal stress and radius and thickness of curvature line.

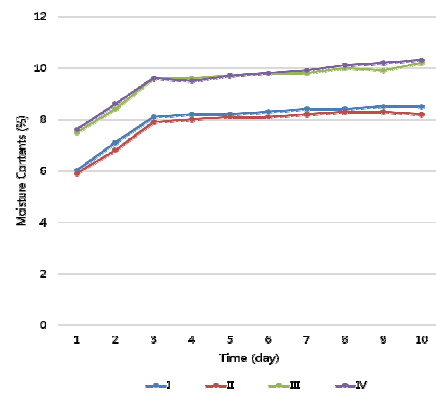


Fig. 6. Measured moisture contents with I, II, III, and IV under oiled conditions at max 90°C, 25% [RH].

확인하였다.

그림 6과 7은 기중과 유중 조건에서의 프레스보드의 흡습률을 비교 측정한 결과이며 기중에서의 흡습률이

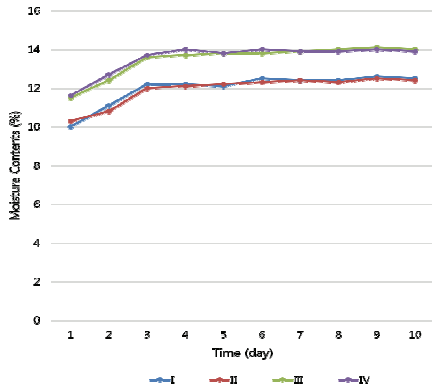


Fig. 7. Measured moisture contents with I, II, III, and IV under non-oiled conditions at max 90°C, 25% [RH].

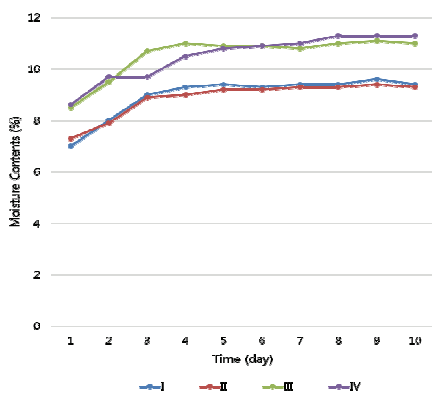


Fig. 8. Measured moisture contents with I, II, III, and IV under oiled conditions at max 65°C, 25% [RH].

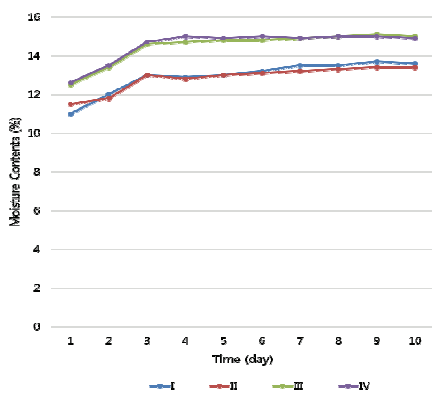


Fig. 9. Measured moisture contents with I, II, III, and IV under non-oiled conditions at Max 65°C, 25% [RH].

유중보다 60% 이상 증가함을 확인하였다.

그림 8과 9는 최저 허용온도에서의 기중과 유중에서의 흡습률을 비교 측정한 결과이며 최저온도에서의 흡습률이 최고온도에서보다 15% 이상 증가함을 확인하였다.

Table 2. The results of maximum AC withstand voltage according to variation of temperature.

Type	Thickness (mm)	Radius per length (%)	Max. AC withstand voltage (kV)	
			Max 65°C, 25% [RH]	Max 90°C, 25% [RH]
I	6	50	80	80
II	6	20	75	80
III	3	50	80	80
IV	3	20	80	80

실험 결과 유중 조건과 앵글링 프레스보드의 두께가 증가하게 되면 흡습률이 저하되는 최고의 조건을 갖추고 있음을 증명하였으며, 상시 운전 최고조건에서도 흡습률이 양호함이 확인되었으므로 초고압 변압기의 과부하 운전 등의 특수한 상황에서도 3 mm 앵글링 프레스보다 수명저하의 우려의 요소를 줄여줄 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 최대 곡률반경을 길이의 50%의 범위와 20% 범위 대역에서의 프레스 보드의 흡습률 변화는 차이가 없으므로 흡습률에 대한 유해조건에서 형상변경은 무관함도 확인되었다.

표 2는 절연유가 담겨 있는 챔버에 흡습된 앵글링 프레스보드를 내전압 시험 결과를 통하여 절연내력을 확인하여 앵글링 프레스보드의 굴곡부 형상에 대한 견전성을 검토하였다. 앵글링 프레스보드 굴곡부를 중심으로 구형 전극부에 가압된 압력을 기준으로 점진적으로 전압을 상승시킨 결과 앵글링 길이를 최고로 갖는 길이의 50%의 곡률반경의 프레스보드도 80±5 kV 내외를 통하여 규격에 만족함을 검증하였다. 하지만 일부 부분적인 절연내력 이하의 값에 대해서는 프레스보드 성형 조건에 대한 압력과 시간에 보다 안전한 설계항목의 요소가 추가되어야 하는 필요성이 발생하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 초고압 변압기에 적용되는 앵글링 프레스보드의 형상에 6 mm 두께와 앵글링 길이를 최고로 갖는 길이의 50%의 곡률반경의 프레스보드를 제작하였다. 신규로 적용되는 앵글링 프레스보드의 형상에서 굴곡부의 최대주응력 값을 확인하고 흡습률이 초고압 변압기 사용 운전조건과 같은 상태에서의 최고와 최저 상태에서의 흡습에 대한 시간과 흡습률을 측정하고 분석하였다. 실험된 프레스보드의 절연내력을 확인하고 최대 6 mm의 두께를 가지는 프레스보드가 적용

될 수 있는 가능성을 확인하였다. 초고압 변압기의 최고 운전조건에서의 절연내력을 유지할 수 있는 최적의 앵글링 형상을 구현하는 데 기존의 3 mm의 프레스보드를 6 mm 향상시키는데 흡습률에 대해서는 25% 증가로 한정되는 결과 값에 따라서 성형조건을 수반한 프레스보드의 두께 증가의 가능성을 제시하였다.

본 연구를 통해서 초고압 변압기의 권선부에 적용될 프레스보드의 두께 증가는 흡습률 저하의 강점을 가지고 필연적 설계요소로 반영할 수 있기에 변압기의 수명 향상에도 기여할 것으로 기대된다. 하지만 6 mm 두께 증가와 더불어 최대 곡률반경을 길이의 50%의 범위 대역에서 사용 가능할 수 있으므로 현재 조립공정에서 나타난 앵글링 프레스보드의 수량을 줄일 수 있으므로 경쟁력에서 앞서지만 변압기의 권선 형상을 고려하여 수량을 선정하는 기술은 추가적인 연구가 필요하다.

#### ORCID

Wang Byuck Suh

<https://orcid.org/0000-0002-9555-6380>

#### REFERENCES

- [1] L. S. Nasrat, N. Kassem, and N. Shukry, *Engineering*, **7**, 1 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.4236/eng.2013.51001>]
- [2] R. Liao, J. Hao, G. Chen, Z. Ma, and L. Yang, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **18**, 1626 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TDEI.2011.6032833>]
- [3] H. P. Gasser, C. Krause, and T. A. Prevost, *Proc. Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (IEEE, Toronto, Canada, 2006) p. 403. [DOI: <https://doi.org/10.1109/ELINSL.2006.1665343>]
- [4] H. Z. Ding, Z. D. Wang, and P. Jarman, *Proc. 2007 IEEE International Conference on Solid Dielectrics* (IEEE, Winchester, UK, 2007) p. 106. [DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSD.2007.4290764>]
- [5] C. Krause, P. Brupbacher, A. Fehlmann, and B. Heinrich, *Proc. IEEE International Conference on Dielectric Liquids, 2005. ICDL 2005* (IEEE, Coimbra, Portugal, 2005). [DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDL.2005.1490102>]