

## 반환부하법에 의한 옥외 주상용 몰드변압기의 과전열화 특성

황보국, 조한구, 이운용  
한국전기연구원

### The Energized Aging Property of Pole Mount Mold transformer by Back-to-back Method

Guk Hwang, Han-Goo Cho, Un-Yong Lee  
Korea Electrotechnology Research Institute

#### Abstract

The mold transformers have been widely used in underground substations in large building and have some advantages in comparison to oil-transformer, that is low fire risk, excellent environmental compatibility, compact size and high reliability. In addition, the application of mold transformer for outdoor is possible due to development of epoxy resin. The mold transformer generally has cooling duct between low voltage coil and high voltage coil. A mold transformer made by one body molding method has been developed for small size and low loss. In this paper, the proto type mold transformer of 50kVA class is investigated by routine, type, special test. The outdoor energized aging test is investigated by back-to-back method to verify the long time performance of pole mold transformer. The aging process of transformer is analyzed by various diagnosis method such as DC voltage-current test,  $\tan \delta$ , Meggar measurement, winding temperature and etc.

**Key Words** : pole mount mold transformer, temperature rise test, back-to-back method, aging test

#### 1. 서 론

배전계통에 설치된 주상변압기는 수용가의 전력 공급에 직접적인 역할을 하고있고, 장기간 운전되어야 할 전력기기이다. 현재 주상변압기는 유입변압기로 변압기 사고도 적지않게 일어나고 있다[1]. 유입변압기의 경우, 장시간 운전에 의해 절연유의 열화에 따라 사고발생이 빈번하며, 화재의 위험성도 크다. 하지만, 몰드변압기는 난연성이 우수하여 화재의 위험성이 적고, 유지보수가 간편하며, 단락 성능도 또한 우수하다[2]. 따라서 몰드변압기를 주상변압기로서의 적용함으로써 전력공급 신뢰도, 경제

성을 향상시킬수 있으며, 인명피해도 줄일 수 있다.

일반적으로 몰드변압기의 수명은 권선의 온도분포에 따라 큰 영향을 받는다. 이러한 권선의 온도분포는 변압기의 부하율에 따라 좌우되며, 과부하시 온도상승에 따른 절연재료의 열화가 결국 변압기의 사고를 초래하게 된다. 변압기의 온도상승시험은 실부하법, 등가부하법, 반환부하법 등으로 구분되며, 보통 철손시험과 동손시험을 각각 따로 시행하는 등가부하법을 많이 적용한다. 실부하법의 경우는 실부하를 만들기 위한 시험설비용량에 의해 제작상의 경제적인 어려움이 따른다. 하지만, 동일 변압기 2대를 이용하여 시험하는 반환부하법

은 철손과 동손을 동시에 시험 가능하다.

본 논문에서는 50kVA 주상용 몰드변압기를 설계 및 제작하여 성능평가시험을 검토하였으며, 시제작 변압기의 장기성능을 평가하기 위해 온도상승시험의 한 종류인 반환부하법에 의한 변압기의 과전열화시험을 시행하였다. 과전열화 시험에 따른 변압기의 열화진단방법으로 DC 전압-전류특성, 절연저항, 유전정접, 온도분포, 소음 등을 분석하였다.

## 2. 주상용 몰드변압기

### 2.1 주상용 몰드변압기의 설계 및 시제작

매년 설비가 증가하고 있는 배전계통에서 주요 기기로 운전되고 있는 22.9kV용 일단접지 주상변압기는 수용가의 전력공급에 직접적인 역할을 하고 있다. 현재 사용되고 있는 주상변압기는 유입변압기로 일반형, 저손실형, 자기단전형, 내염형, 아물퍼스형 등이 있다. 본 연구에서 적용하고자 하는 저손실형 일단접지 주상변압기의 사양을 표 1에 나타내었으며[3], 그에 적합한 외철형 변압기를 설계하였다. 그림 1은 시제작 변압기를 나타낸다.

표 1. 적용 주상변압기의 사양

철심형태	외철형
용량	50kVA
1차전압	13200V
2차전압	230/115
절연재료	F종
주파수	60Hz
상수	단상
효율	98.4% 이상
전압변동율	1.4 %
무부하전류	1.4 %
무부하손	127 W

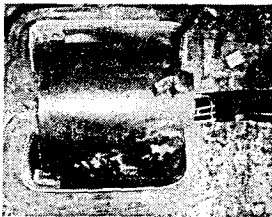


그림 1. 시제작 변압기

## 3. 시제작 변압기의 성능평가 시험

### 3.1 기본특성 시험

시제작 변압기의 기본특성 시험으로 권선저항, 무부하 전류 및 무부하 손실 시험, 부하손실 및 임피던스 전압 시험 등을 시행하였다. 그 결과를 표 2에 나타낸다.

표 2. 기본특성 시험 결과

항 목	측정 결과값
1차권선 저항 ( $\Omega$ )	14.01
2차권선 저항 (m $\Omega$ )	2.6
무부하 손실 (W)	120
무부하전류 (%)	0.5
부하손실 (W)	445
전압변동율 (%)	1.01

### 3.2 온도상승시험

변압기의 온도상승시험은 실부하법, 반환부하법, 등가부하법 등이 있는데, 본 실험에서는 등가부하법을 이용하였다. 등가부하법은 1차권선을 개방하고 2차권선 쪽에 정격전압을 인가하여 철손시험을 하고, 2차권선을 단락하고 1차권선 쪽에 정격전류를 흐르게 하여 동손시험을 하는 방법이다[4]. 최종 온도상승 값은 식 (1)에 의해 계산된다.

$$\Delta\theta_c (^\circ\text{C}) = \Delta\theta_c \left\{ 1 + \left[ \frac{\Delta\theta_i}{\Delta\theta_c} \right]^{1.25} \right\}^{0.8} \quad (1)$$

여기서,  $\Delta\theta_c$ : 구하려는 권선의 온도상승값 (K)

$\Delta\theta_i$ : 철손시험시 권선온도 상승값 (K)

$\Delta\theta_c$ : 동손시험시 권선온도 상승값 (K)

위 식에 의해 시제작 변압기에 대한 계산된 최종 온도상승값은 1차권선 및 2차권선이 각각 97, 113 [K]이었다.

### 3.3 PD, 뇌충격 및 유도내전압 시험

몰드변압기의 PD시험은 정격전압의 1.3배까지 PD발생을 관찰한 후, 1.2배에서의 PD 발생량을 측정하며 그때 발생하는 PD량은 50pC 이하여야 한다. 시제작 변압기에 대한 PD 시험결과, 30pC으로 기 준값을 만족하였다.

뇌층격 내전압 시험과 유도 내전압 시험을 시행한 결과, 뇌층격 내전압 시험에서 기준치 125kV를 통과하였으며, 유도 내전압 시험에서는 40kV(180Hz)에서 40s 동안 이상이 없었다.

#### 4. 반환부하법에 의한 과전열화

##### 4.1 변압기의 기대수명

절연열화는 온도 및 시간의 함수이다. 변압기의 내부 온도분포는 균일하지 않으므로 최고온도에 이르는 부위가 가장 심한 열화를 겪을 것이므로 열화 연구에서는 최고온도(hot spot temperature)에 의한 열화를 고려해야 한다.

대부분의 절연열화(열에 의한)에 대한 기본적 데이터는 실험실적 모델을 근거로 하고 있다. 이러한 실험실적 데이터와 실제의 변압기에 시행한 일련의 가속열화시험 결과를 종합하여 변압기의 열적 스트레스에 의한 수명을 예측할 수 있다.

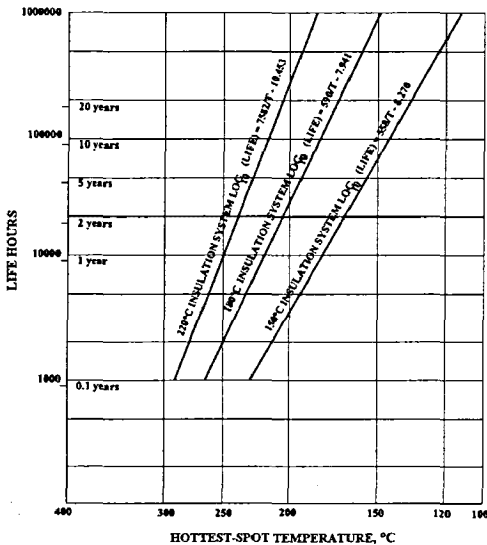


그림 2. 건식 변압기의 수명예측곡선

그림 2는 앞에서 설명한 방법으로 얻은 열적 스트레스에 대한 건식변압기의 기대수명을 나타낸 수명예측 곡선이다[5]. 수명예측 곡선은 온도 및 시간에 대한 절연열화가 Arrhenius 반응속도 이론을 따른다고 가정하는 것에 기본을 두고 있다. Arrhenius 반응속도 이론은 아래 식과 같이 절연

수명의 logarithm이 절대온도의 역수의 함수로 나타내어 질 수 있다는 이론이다.

$$\log \text{ life } (t) = (B/T) + A \quad (1)$$

여기서, t : 수명시간

T : 절대온도 (K)

θ : hot spot 온도 (°C)

A, B : 수명예측 곡선에 적합한 상수

a) 권선온도가 100°C라면

$$\log_{10}(t) = \frac{B_{10}}{T} + A_{10} [h]$$

$$= 5581/373 - 8.27 = 6.69$$

$$\therefore t = 4,897,788 \text{ h} = 204,074 \text{ 일} = 559 \text{ 년}$$

b) 권선온도가 140°C라면

$$\log_{10}(t) = \frac{B_{10}}{T} + A_{10} [h]$$

$$= 5581/413 - 8.27 = 5.24$$

$$\therefore t = 173,780 \text{ h} = 7,240 \text{ 일} = 19.8 \text{ 년}$$

이와같은 계산에 의해 권선온도에 따른 변압기의 예측수명을 표 3에 나타낸다.

표 3. 권선온도에 따른 예측수명

권선온도 (°C)	절대온도 (K)	예측수명
100	373	559년
140	413	19.8 년
180	453	1.28 년
200	473	4.7 개월
210	483	2.65 개월

##### 4.2 변압기의 과전열화

본 연구에서는 반환부하법을 이용하여 시제작 변압기의 과전열화 특성을 검토하였다. 이 방법은 정격이 동일한 변압기 2대를 사용하여 시험을 한다. 온도상승 시험을 하여야 할 변압기와 또 다른 변압기를 병렬로 연결한다. 그리고 한쪽 권선에 정격 주파수, 정격전압을 공급한다. 다른 변압비 또는 1차 쪽에 인가한 전압으로 시험 중인 변압기인 정격전류가 흐르도록 한다[6].

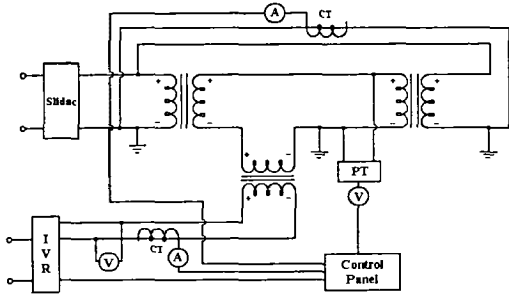


그림 3. 반환부하법 구성회로

그림 3은 2대의 동일변압기와 IVR, 보조변압기 등으로 구성된 반환부하법 회로를 나타낸다. 동일 정격의 변압기 2대를 병렬로 접속하여 한쪽을 부하로 하고 다른 한쪽을 전원으로 하면 변압기 자체가 부하가 되어 소비전류가 순환되므로 정격부하 상태가 된다. 이 상태로 통전하면 정격용량에 상당하는 전류를 얻을 수 있다. 또한 저압측 전압을 가변 할 수 있어 변압기 수명 단축 실험이 가능하다. 2대의 변압기 저압측, 고압측 모두 병렬로 접속하여 저압측에 정격전압을 인가하면 무부하손(고정손)인 철손이 공급되고 고압측에 임피던스 전압을 인가하게 되면 2차측에는 정격전류에 의한 부하손인 동손이 공급하게 된다. 철손과 동손에 의해 변압기 손실이 발생하며 부하손에 의해 권선온도가 상승되므로 주변온도를 측정함으로써 권선온도상승을 구할 수 있다.

#### 4.3 열화진단방법

시제작 몰드변압기의 열화진단 방법으로는 DC 전압-전류특성, 유전정접( $\tan \delta$ ), 절연저항, 온도계측, 소음측정 등을 적용하였다. DC 전압-전류특성, 유전정접, 절연저항 등은 정전상태에서 적용가능한 방법이기 때문에 미열화시 및 과전열화 주기마다 정전상태에서 측정할 수 있다. 활선상태에서의 진단방법으로는 온도계측, 소음측정 등을 적용하였다. 현재까지 아직 과전열화를 진행중이기 때문에 초기의 DC 전압-전류 특성에 따른 PI 값과 유전정접, 절연저항 값을 표 4에 나타낸다. 본 연구의 변압기는 일단접지 주상변압기이기 때문에 고압권선과 저압권선(프레임 포함) 사이에서의 성극지수, 유전정접, 절연저항 값을 측정하였다.

표 4. 미열화시의 성극지수, 유전정접, 절연저항

항 목	측 정 값
성극지수 (PI)	4.36
유전정접 ( $\tan \delta$ )	0.0103
절연저항	4.34 T $\Omega$

#### 4. 결 론

본 연구에서는 일단접지 주상용 몰드변압기를 설계, 제작하여 성능평가 시험 및 반환부하법에 의한 과전열화 시험을 검토하였다.

1. 시제작 변압기에 대해서 1, 2차권선의 저항은 14.01[ $\Omega$ ], 2.6[m $\Omega$ ], 무부하손은 120[W], 부하손은 445[W]였다.
2. 온도상승시험결과, 1차권선의 최종온도상승값은 97[K], 113[K]로 나타났으며, 이 결과는 F종 몰드변압기의 온도제한 값을 만족한다.
3. 시제작 변압기의 PD시험에서는 30pC으로 기준치를 만족하였으며, 뇌충격 및 유도 내전압 시험에서도 이상이 없었다.
4. 성능평가 시험에서 통과된 시제작 변압기의 과전열화 특성을 검토하기 위해, 반환부하법으로 회로를 구성하여 현재 시험 진행 중이다. 미열화시 성극지수는 4.36, 유전정접은 0.0103, 절연저항은 4.34T $\Omega$ 이었다.

#### 참고 문헌

- [1] 전력연구원, "주상변압기 절연과피 감소대책 연구", 최종보고서, 1991. 4.
- [2] Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, Vol. 43, No. 4, pp. 66-72, 1996.
- [3] ES 141-511~527, "저손실형 일단접지 주상변압기 (22.9kV-y용)", 한전구매시방서, 1992
- [4] IEC 60726, "Dry Type Power Transformers", 1982
- [5] IEEE Std C 57.96, "IEEE Guide for Loading Dry-type Distribution and Power Transformers", 1999
- [6] 한국전기안전공사, "부분방전 검출에 의한 몰드변압기 무정전 진단기법 연구", 1999. 12