

## 50 kVA 주상용 몰드변압기의 설계 및 특성평가

The Design and Performance Test of Mold Transformer for Outdoor Pole

조한구, 이운용, 황보국

( Han-Goo, Cho, Un-Yong, Lee, Kuk, Hwangbo )

### 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.

The life of transformer is significantly dependent on the thermal behavior in windings. To analyse winding temperature rise, many transformer designer have calculated temperature distribution and hot spot point by finite element method(FEM). Recently, numerical analyses of transformer are studied for optimum design, that is electric field analysis, magnetic field, potential vibration, thermal distribution and thermal stress.

In this paper, the temperature distribution of 50 kVA pole mold transformer for power distribution are investigated by FEM program and the temperature rise test of designed mold transformer carried out and test result is analyzed compare to simulation data. In this result, the designed mold transformer is satisfied to limit value of temperature and the other property is good such as voltage ratio, winding resistance, no-load loss, load loss, impedance voltage and percent regulation.

**Key Words :** mold transformer, FEM program, temperature rise test, temperature distribution

### 1. 서 론<sup>1)</sup>

배전계통에 설치된 주상변압기는 수용가의 전력 공급에 직접적인 역할을 하고있고, 장기간 운전되어야 할 전력기기이다. 현재 주상변압기는 유입변압기로 변압기 사고도 적지 않게 일어나고 있다. 유입변압기의 경우, 장시간 운전에 의해 절연유의 열화에 따라 사고발생이 빈번하며, 화재의 위험성

도 크다. 하지만, 몰드변압기는 난연성이 우수하여 화재의 위험성이 적고, 유지보수가 간편하며, 단락 성능도 또한 우수하다. 따라서 몰드변압기를 주상변압기로의 적용함으로서 전력공급 신뢰도, 경제성을 향상시킬 수 있으며, 인명피해도 줄일 수 있다 [1, 2].

변압기의 수명은 권선의 온도분포에 따라 큰 영향을 받는다. 이러한 권선의 온도분포를 분석하기 위해, 많은 변압기 설계자들이 온도분포 및 hot spot 온도를 계산한다. 특히 최근에 들어서는 유한요소법을 이용한 해석프로그램을 이용하여 변압기의 열해석 뿐만아니라, 전계해석, 자계해석, 열응력해석 등을 연구하고 있다[3, 4, 5]. 이와같이 변압

한국전기연구원 전략기술연구단  
(경남 창원시 성주동 28-1)  
Fax: 055-280-1673  
E-mail : hgcho@keri.re.kr

기의 설계특성을 수치해석으로 검토하고 설계, 제작할 경우 그만큼이 비용 및 시간이 절약된다[6].

본 논문에서는 50kVA 주상용 몰드변압기를 내철형과 외철형 두가지로 설계하여 수치해석으로 온도분포 등을 분석하였으며, 분석된 proto type 변압기를 제작하여 온도상승시험을 비롯해 각종 성능확인 시험을 실시하였으며, 그 특성들이 우수함을 확인하였다.

## 2. 몰드변압기의 설계 및 제작

### 2.1 설계 및 열해석

현재 사용되고 있는 주상변압기는 유입변압기로 일반형, 저손실형, 자기진단형, 내염형, 아몰페스형 등이 있다. 본 연구에서 적용하고자 하는 저손실형 주상변압기의 사양을 표 1에 나타내었으며[7], 내철형과 외철형 두가지 설계모델을 그림 1에 나타내었다. 철심은 변압기의 외함을 제외한 중량의 절반이상의 무게가 되고, 변압기의 크기, 가격 및 특성에 영향을 준다. 내철형은 권선을 2개로 분할해서 감으며, 외부에서의 관찰이 용이하다. 외철형은 자기회로가 짧으며, 여자전류가 적다.

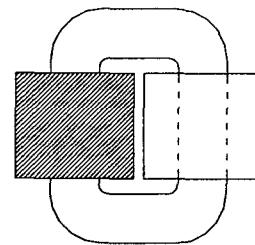
표 1. 적용 주상변압기의 사양

Table 1. The specification of transformer

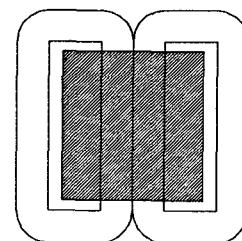
| 철심형태  | 내철형 or 외철형 |
|-------|------------|
| 용량    | 50kVA      |
| 1차전압  | 13200V     |
| 2차전압  | 230/115    |
| 절연재료  | F종         |
| 주파수   | 60Hz       |
| 상수    | 단상         |
| 효율    | 98.4% 이상   |
| 전압변동율 | 1.4 %      |
| 무부하전류 | 1.4 %      |
| 무부하손  | 127 W      |

변압기는 일반적으로 발열체인 권선의 열량에 따른 온도분포와 냉각매체의 흐름의 분포를 전체적으로 파악할 필요가 있으며, 권선내의 온도분포는 시뮬레이션 데이터와 실측온도 데이터를 비교 분석해야 한다. 먼저 설계모델에 대한 온도분포를 예측하기 위해 유한요소법(FEM) 상용 프로그램인 MSC/Nastran for Windows 프로그램을 사용하였다. 변압기의 열해석은 각 구성재료인 에폭시, 저고압코일, 유리섬유 등에 대해 열전도율, 열팽창계수, 비열 등의 열적 파라미터들을 설정하여 실

시하였다. Load 조건으로는 저고압코일에 흐르는 전류에 따른 발열량을 지정하고 변압기의 대류조건을 설정하여 시뮬레이션을 하였다. 그럼 2는 설계모델을 해석하기 위해 모델링한 것을 나타낸다.



(a) 내철형 모델



(b) 외철형 모델

그림 1. 설계 모델  
Fig. 1. The designed model

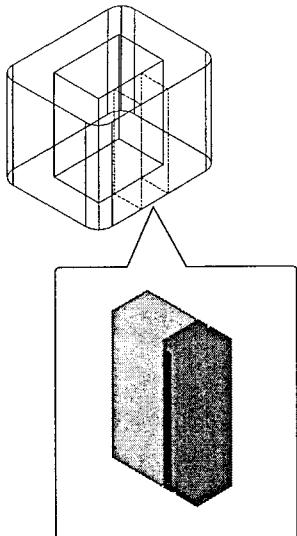


그림 2. 몰드변압기 모델링

Fig. 2. The modeling of mold transformer

그림 3은 열해석 결과 나타난 온도분포이다. 내철형 모델의 경우, hot spot 온도는 저압권선에서 나타났으며, 그 값은  $119.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 또한 철심의 온도는  $60\sim70^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타내었다. 외철형 모델도 hot spot 온도는 저압권선에서 나타났으며, 그 온도는 약  $113^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

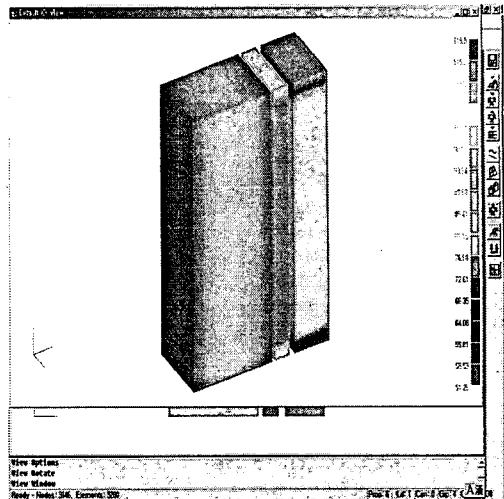
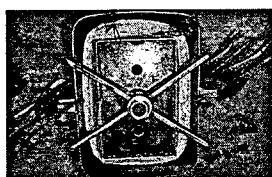


그림 3. 내철형 모델의 온도분포 해석결과

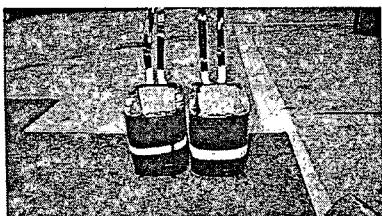
Fig. 3. The analyzed results of temperature distribution for core type

## 2.2 Proto type 변압기 제작

열해석을 통해 설계모델의 온도분포를 검토한 두가지 내철형과 외철형 모델에 대한 proto type 변압기를 그림 4와 같이 제작하였다.



(a) 1차권선



(b) 2차권선

#### 그림 4. 각 권선의 제작모습

Fig. 4. The making process of each winding

### 3. Proto type 변압기의 성능평가시험

#### 3.1 무부하·부하시험

먼저 transformer ohm meter로 각 권선의 냉저항을 측정하였으며, 그 측정값과 무부하 및 부하시험을 통해 측정된 파라미터들을 표 2에 나타낸다.

표 2. 무부하·부하시험 결과값

Table 2. The test results of no-load and load

| 항 목          | 내철형   | 외철형   |
|--------------|-------|-------|
| 1차권선 저항 (Ω)  | 15.97 | 14.01 |
| 2차권선 저항 (mΩ) | 4     | 2.6   |
| 무부하 손실 (W)   | 100.8 | 120   |
| 무부하전류 (%)    | 0.5   | 0.5   |
| 부하손실 (W)     | 451.2 | 445   |
| 전압변동율 (%)    | 1.33  | 1.01  |

#### 3.2 온도상승시험

온도상승시험은 실부하법, 반환부하법, 등가부하법 등이 있는데, 본 실험에서는

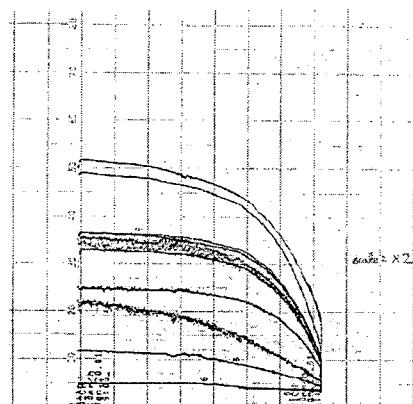
등가부하법을 이용하였다. 등가부하법은 1차권선을 개방하고 2차권선 쪽에 정격전압을 인가하여 철손시험을 하고, 2차권선을 단락하고 1차권선 쪽에 정격전류를 흐르게 하여 동손시험을 하는 방법이다. 최종온도상승 값은 식 (1)에 의해 계산된다[8].

$$(1) \quad \Delta T = \frac{P}{K} \quad \text{--- (1)}$$

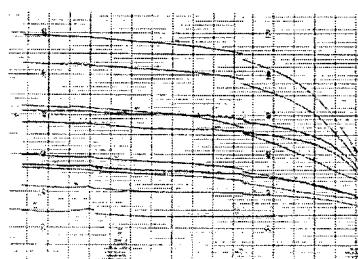
: 구하려는 권선의 온도상승값 (K)

: 철손시험시 권선온도 상승값 (K)

: 동손시험시 권선온도 상승값 (K)



(a) 동손 데이터 (내철형)



(b) 동손 데이터 (외철형)

#### 그림 5. 온도상승시험

Fig. 5. The temperature rise test

변압기의 각 부분에 온도센서를 부착하여 온도기록계로 기록하였다. 그럼 5는 내철형 및 외철형 변압기에 대한 동순시 온도기록계로 기록된 온도분포를 나타낸다.

내철형 모델에 대한 최종 온도상승 값은 (1)에 의해 계산하면 저압권선의 온도상승 값은 115.5[K], 고압권선의 온도상승 값은 91[K]이다. 또한 외철형 모델에 대한 계산값은 110, 95[K]로 나타났다. 따라서 온도상승시험에서 측정된 온도상승값과 앞에서 열해석을 통해 해석된 값과 유사함을 알 수 있다. F종 몰드변압기의 온도상승 제한값은 120[K]이므로 본 proto type 변압기 두 모델 모두 온도분포에서는 이상이 없다.

### 3.3 내전압 시험

두 모델 모두 뇌임필스 내전압 시험에서 기준치 125kV를 통과하였으며, 유도 내전압 시험에서는 40kV( 180Hz)에서 40s 동안 이상이 없었다.

### 3.4 PD시험

몰드변압기의 PD시험은 정격전압의 1.3배까지 PD발생을 관찰한 후, 1.2배에서의 PD 발생량을 측정하며 그때 발생하는 PD량은 50pC이하여야 한다[9]. 두 모델에 대해 PD시험을 한 결과, 모두 50pC 이하로 합격하였다.

## 4. 결 론

- 1) 50kVA 주상변압기 사양에 적합한 변압기 모델을 내철형과 외철형으로 두 가지를 설계하여 FEM 프로그램을 통해 설계모델에 대한 열해석을 하였다. 그 결과, 저압권선 쪽에 hot spot

온도가 나타났으며, 온도값은 119.5°C, 113°C로 계산되었다.

- 2) 설계모델을 바탕으로 proto type 변압기를 제작하여 무부하 및 부하시험을 실시한 결과, 모두 설계기준을 만족하였다.
- 3) proto type 변압기에 대해서 온도상승시험을 실시한 결과, 내철형 변압기는 고압권선 및 저압권선의 온도상승값이 91, 115.5[K]로 나왔으며, 외철형 변압기는 95, 110[K]로 나왔다. 이 값은 열해석을 통해 미리 예측되었던 것과 거의 유사하였으며, 제한값을 만족하였다.
- 4) proto type 변압기에 대해서 뇌임필스 내전압과 유도 내전압 시험을 실시한 결과, 모두 만족하였다.
- 5) 또한 두 proto type 변압기에 대해서 PD시험을 한 결과, 모두 50pC 이하의 PD가 발생하였다.

### 참고 문헌

- [1] Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, Vol. 43, No. 4, pp. 66-72, 1996.
- [2] Linden W. Pierce, "Hottest Spot Temperature in Ventilated Dry Type Transformers", IEEE Trans., Vol.9, No.1, pp.257-264, Jan. 1994
- [3] Takeshi Noda 외 1인, '중전기기를 지탱하는 열·유체해석', Takaoka Review, Vol. 47, No. 3, 2000.
- [4] Hideo Hirose et al, "Development of Non-linear Transient Heat Transfer Analysis Program HTT by Finite Element Method and its Application", Takaoka Review, Vol.32-3, No.107, pp.21-28, 1985

[5] 조한구, 이운용 외 2인, '주상용 몰드변압기의  
온도분포와 열용력 해석',  
한국전기전자재료학회 논문지, Vol.14, No.4,  
pp.297~301, 2001

[6] Linden W. Pierce, "Predicting Hottest Spot  
Temperatures in Ventilated Dry Type  
Transformer Windings", IEEE Trans.  
Power Delv., Vol. 9, No. 2, pp. 920~926,  
April 1992.

[7] ES 141-511~527, "저손실형 일단접지 주상변  
압기 (22.9kV-y용), 한전구매시방서, 1992

[8] IEC 60726, "Dry Type Power Transformers",  
1982

[9] JIS 4306, '배전용 6kV 몰드변압기', 1999