

**식물성 절연유와 광유가 사용된 유입변압기의 온도분포 특성**

**안정식\***, 심명섭\*, 정종일\*, 김남렬\*\*\*, 허창수\*  
 인하대학교\*, 중원전기(주)\*\*

**Analysis on the Temperature Distribution Characteristics of Insulating oil of Transformer Using the Vegetable oil and Mineral oil**

Jung-Sik An\*, Meoung-Seop Shim\*, Joong-Il Jung\*, Nam-Ryul Kim\*\*\*, Chang-Su Huh\*  
 Inha University\*, Joongwon Company\*\*

**Abstract** - Most transformer use insulating and cooling fluids derived from petroleum crude oil, but mineral oil is some possibility of environmental pollution and fire with explosion. vegetable oil fluids extracted from seed has superior biodegradation and fire-resistant properties including an exceptionally high fire point enhancing fire safety. In this study, it is aimed at the practicality of substituting natural ester dielectric fluid for mineral oil in liquid insulation system of transformers. As a rise in coil winding temperature has a direct influence on transformer life time, it is important to evaluate the temperature rise of coil winding in vegetable oil in comparison with mineral oil. Three transformers for the test are designed with 10KVA, 13.2KV, one phase unit. The temperature are directly measured in insulating oil of these transformers with the two sorts of natural ester and mineral oil dielectric fluid respectively.

Temperature of vegetable oil transformers was similar to temperature of mineral oil transformer in the same design at 80% load and above.

**1. 서 론**

배전용 변압기의 운전경험이나 수명특성 시험에 의하면 변압기가 제조결합이 없고 과부하에 의한 열적열화나 외적인 스트레스가 작용하지 않은 상태에서 운전된다면 수명이 30년 이상 될 것이라는 것이 지배적인 의견이다[1]. 배전용변압기가 받는 주요한 열화 메커니즘은 과부하 고온 운전에 따른 열적 열화현상 외부 단락전류 유입에 의한 단시간의 열적 열화현상이다. 이러한 열화현상은 절연물로 사용되는 절연유의 성능을 점차 저하시켜 현장에서 변압기 고장을 발생하게 한다.

변압기 운전시 부하에 의한 권선의 핫스팟(hottest spot) 부분의 온도가 절연유를 열화시켜 변압기 수명에 절대적인 영향을 미친다. 따라서 일시적인 과부하로 인해 핫스팟 온도가 급격히 상승될 때 변압기 절연유의 열 열화특성을 이해하는 것이 중요하다. 최근 개발된 식물성 절연유는 기존의 절연유에 비해 온도특성 및 절연성능이 좋고 화학적으로 안정하며 독성이 없고 생분해성이 좋다 이로 인하여 기존 절연유를 식물성 절연유로 대체하는 경향이 높고 이에 따른 식물성 절연유의 열화진단 연구가 진행되어야 한다[2,3].

본 연구에서는 동일한 조건하에 FR3 와 Biotrans-35 두 종의 식물성 절연유를 사용한 두개의 주상변압기와 기존의 광유를 사용한 하나의 주상변압기 총3대의 변압기에 80%, 100%, 150%의 부하를 인가하여 절연유의 온도상승을 비교하였다

**2. 본 론**

**2.1 실험에 사용한 식물성 절연유와 광유의 초기 값 비교**

일반적으로 식물성 절연유는 광유에 비해 절연내력과 생분해도, 난연성능이 우수하다. 하지만 식물성 절연유는 광유에 비해 약 3배 정도 높은 점도와 25%정도 낮은 열전도율을 가지고 있다. 이러한 식물성 절연유의 상대적으로 높은 점도와 낮은 열전도율은 변압기의 hottest-spot에서 발생한 열의 원활한 순환을 저해하여 발생한 열을 방사하는데 광유에 비해 많은 시간이 소요된다.. 본 실험에서 실제변압기의 부하별 온도상승 곡선을 비교하여 식

물성 절연유와 광유의 온도특성을 비교하였다.

**표1 시험에 사용된 광유와 식물유의 특성비교 (제조사 제공)**

property	Mineral oil	FR3	Biotrans-35
Viscosity	9.94cSt@40℃	34cSt@40℃	35.94cSt@40℃
	2.71cSt@100℃	8cSt@100℃	8.27cSt@100℃
Acid Number	0.01mg KOH/g	0.04mg KOH/g	0.07mg KOH/g
Dielectric Strength	59.4kV @ 25℃ (2.5mmgap)	56kV @ 25℃ (2.0mmgap)	51.7 @ 25℃ (2.5mmgap)
Volume Resistivity	$2.2 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ @25℃	$2.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ @25℃	$3.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ @25℃

**2.1.1 실험에 사용한 변압기의 특성**

실험에 사용한 변압기는 특성이 동일한 세 대(TR. #1, TR. #2, TR. #3)를 제작하였다.

**표2 시료 변압기**

Contents	TR. #1	TR. #2	TR. #3
Capacity	1φ 10KVA	1φ 10KVA	1φ 10KVA
Insulating oil	광유(1종2호)	FR3	Biotrans-35
No-load current(A/%)	0.18/0.41	0.18/0.41	0.18/0.41
No-load loss(W)	35	35	35
Impedance Voltage(V/%)	374/2.83	374/2.83	374/2.83
Load loss(W)	174	174	174

**2.2 과부하 인가 장치**

그림 1은 과부하 시험장치의 구성을 개략적으로 나타낸 것이다. 과부하 인가장치는 슬라이닥스(Slidacs)를 통해 2차를 단락시킨 변압기(삼상,13200V/220V,10KV)에 과부하를 인가할 수 있도록 구성하였다. 본 장치를 이용하여 식물유 두 가지종류와 광유를 넣은 세 변압기의 부하에 따른 절연유의 포화온도를 측정하기 위해 절연유 표면아래의 3cm부분에 thermal couple을 함침 시켜 부하에 따른 절연유의 포화온도를 측정하였다

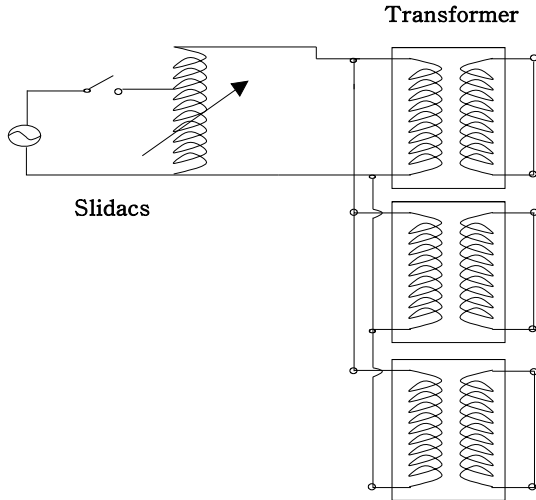


그림1 과부하 시험장치의 구성도

### 2.2.1 온도상승을 위한 부하인가 방법

변압기 2차측을 단락하고 1차측에 임피던스 전압을 인가하여 부하상태를 모의하는 방법을 적용하였다. 즉 부하손실에 상당하는 전류를 공급하여 권선의 온도상승을 구하는 방법이다. 여기서 부하손실에 상당하는 부하손을 공급하는 전류  $I_a$ 는 식 1과 같이 구한다.

$$I_a = I \times \sqrt{\frac{W_i + W_c}{W_c}} [A] \quad (1)$$

여기서

$I$ : 정격전류 [A]

$W_i$ : 무부하손 [W]

$W_c$ : 부하손 [W]

부하는 각각 80%, 100%, 150%로 모의하였으며 각 부하별로 일정시간동안 유지하여 온도가 포화된 후 다음 단계 부하를 인가하였다.

### 3. 결 론

광유와 식물유에서 절연유온도 상승 비교 결과 동일한 변압기에서 식물유 변압기의 절연유온도 상승이 약간 높은 것으로 나타났다. 그림2, 그림3, 그림4는 각각 80%, 100%, 150%에서의 광유와 식물유에서 변압기의 부하에 따른 온도상승 값을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 보통 각 부하에서 온도가 포화되기 까지 소요되는 시간은 약 6시간 정도 소요되었다. 아래 표3에서와 같이 광유와 식물유의 각각의 부하에 따른 온도 차이는 거의 발생하지 않았다.

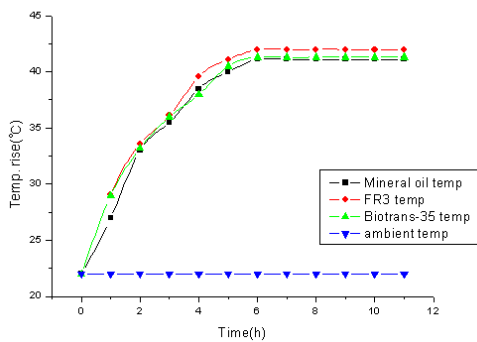


그림2 80%부하에 온도상승 곡선

그림2 80%부하에 온도상승 곡선

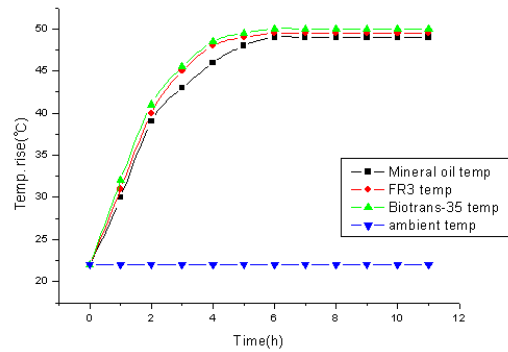


그림3 100%부하에 온도상승 곡선

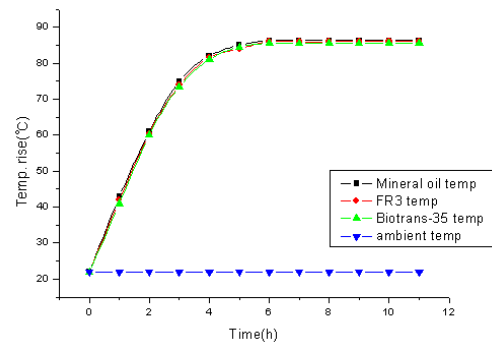


그림4 150%부하에 온도상승 곡선

표3 부하에 따른 포화온도

Load	80%	100%	150%
Mineral oil	41.3°C	49°C	86.3°C
FR3	41.1°C	49.5°C	86°C
Biotrans-35	42°C	50°C	85.5°C

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 기초전력연구원(38718-1)주관으로 수행된 과제임.

### [참 고 문 헌]

- [1] William H. Bartley, "Life Cycle Management of Utility Transformer Assets", HSB report, Oct. 10~11, 2002
- [2] C. Patrick McShane, "Relative Properties of the New Combustion-resist Vegetable-oil-based Dielectric Coolant for Distribution and Power Transformers", IEEE T&A Vol.37, No.4, pp1132~1139, 2001
- [3] C.P. McShane, G.A. Gauger, J. Luksich, "Fire Resistant Natural Ester Dielectric Fluid and Novel Insulation System for Its Use", IEEE/PES Transmission & Distribution Conference, April 12~16, 1999 July pp.15~16, 1996