

식물성 절연유를 사용한 배전용 변압기의 온도변화 특성

이병성*, 박철배*, 송일근*, 한상옥**
 한국전력공사 전력연구원*, 충남대**

Temperature Rise of the MV Class Transformer Filled with a Vegetable Fluid

Byung-Sung Lee*, Chul-Bae Park*, Il-Keun Song*, Sang-Ok Han**
 KEPRI KEPCO*, Chungnam National University**

Abstract - 식물성 절연유는 기존 광유계 절연유에 비해 친환경성과 안전성이 부각되어 전력용 변압기에 사용을 검토하고 있다. 우수한 생분해성 및 높은 인화점, 발화점을 갖는 반면, 점도가 높아 냉각 효과가 줄어드는 단점이 있다. 변압기 절연유의 역할이 절연과 냉각이므로 광유에 비해 약 3배 정도 높은 점도를 갖는 식물유를 사용할 경우 변압기 권선 내부 온도 상승을 검토하여야 한다. 본 연구에서는 배전급에 사용되는 변압기에 광유 대체로 식물유를 사용하였을 때 권선 및 유온도 상승을 측정하였다. 변압기 권선 구조 설계에 있어서 정확한 권선온도 상승 값을 활용하여야 적정 수명 유지가 가능해 진다.

1. 서 론

전력사업에 있어서 안정적인 전력공급과 친환경성이 점차 부각되고 있기 때문에 신규로 개발되는 전력기기는 친환경적으로 설계되어야 한다. 국외에서는 오래전부터 식물성 절연유를 사용한 변압기를 제조하고 있으며, 설치 환경에 따라 운용기준이 마련되어 있다. 국내에서도 식물유가 개발되었으며, 변압기 절연유로서 식물유 특성을 검토하고 있다. 그러나 아직까지 식물유 변압기의 사용 경험이 부족하여 장기 신뢰성 데이터가 많지 않고, 광유에 비해 고가 이므로 사용량이 많지 않은 실정이다. 그리고 변압기 수명에 온도 상승과 직접적인 관련성이 있으므로 광유에 비해 3배 정도 높은 점도는 식물유 변압기 설계에 있어서 충분히 고려되어야 한다.

본 연구에서는 배전용 변압기에 식물성 절연유를 기존 광유 대체로 사용하기 위해 전기적, 열적 특성을 규명하였다. 500kVA 급 이하의 용량으로 사용되고 있는 배전급 변압기의 경우 권선 구조상 국부적인 과열부가 생길 수 있기 때문에 해석적인 방법 보다는 실험적인 방법으로 냉각 설계 개념을 정립하고자 하였다. 우선 식물유의 기본특성을 광유와 비교하고 실 변압기에 사용하였을 때 권선 내부 열특성을 해석하였다.

2. 본 론

2.1 시험용 변압기 제작

시제품 제작에 사용한 절연유는 광유(제1종 2호, 동남석유)와 식물성 절연유(Cargil사, BioTrans 1000)이며, 본 연구에서 실측한 결과에 따르면 40℃에서 점도가 광유는 12 cSt이고 식물유는 41 cSt이었으며, 절연내력은 비슷하였다.

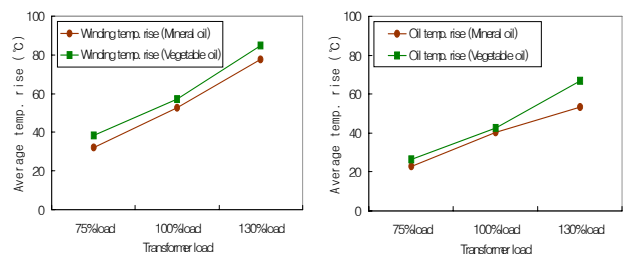
제작 변압기는 22.9kV/380V, 3상 150 kVA 급 지상설치형 변압기(pad-mount transformer)로 한전구매 사양 PS 141-482에 따라 제작하였다. 권선 중간 절연지는 기존에 사용하는 것과 동일한 것으로 단락에 대한 기계력 증가를 위해 예폭시가 코팅된 B종 셀룰로오스계 절연지를 사용하였다. 온도센서는 시험용 변압기 권선 제작시 1차권선 내에 설치하였으며, 총 14개 온도센서(T-type, -40℃~350℃, ±0.5℃)를 삽입하였다. 권선 내부의 최고 온도를 나타내는 위치를 선택하였으며, 절연거리 확보 및 센서 리드 인출이 용이한 H3상 권선의 1차측을 3곳으로 구분하여 설치하였다.

제작한 변압기는 부하에 따른 변압기 각 부분의 열 특성을 측정하기 위해 2차측을 단락하고 1차측에 임피던스 전압을 인가하여 시험하는 방법인 단락법을 적용하였다. 부하손실에 상당하는 전류를 공급하여 권선의 온도상승을 구하는 방법이다. 방열기에서의 열교환은 대기의 유동에 많은 영향을 받게 되므로 보다 정확한 측정을 위해 공기의 유동이 적은 실내에서 실험하였다. 부하는 75%, 100%, 130%로 모의하였으며, 각 부하별로 일정시간 동안 유지하여 온도가 포화된 후, 다음 단계 부하를 인가하였다. 보통 각 부하에서 온도가 포화되기 까지 소요되는 시간은 약 1

5~18시간 정도 소요되었다.

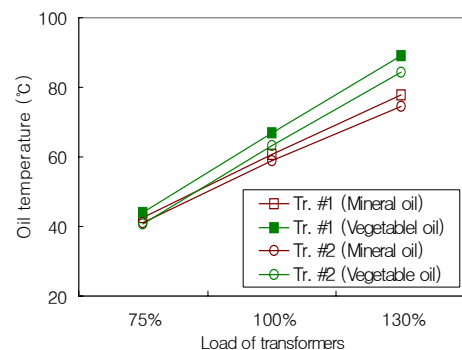
2.1.1 권선온도 및 유온도 상승

부하 75%, 100%, 130% 조건에서 광유와 식물유 변압기의 권선온도 상승 비교 결과 동일한 변압기에서 식물유 변압기의 권선 온도 상승이 3~4 (℃) 정도 높은 것으로 나타났다. 그림 1은 광유 및 식물유 변압기의 부하에 따른 온도상승값을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 해당 부하에서 온도포화가 되었을 때 측정된 값으로 식물유가 광유에 비해 열전도율이 낮고, 점도가 높아 평균권선온도 및 유온상승이 높게 나타났다. 또한, 그림 1의 (a)에서와 같이 식물유의 평균온도상승은 부하 증가에 따라 광유와 일정온도 차이로 증가하는 특성을 보였지만, 평균권선온도상승은 그림 1의 (b)와 같이 부하가 증가에 따라 상승 폭이 크게 나타났다. 상대적으로 높은 점도가 이러한 대류작용에 영향을 주었기 때문이다.



(a) 절연유 온도상승 (b) 권선온도상승
<그림 1> 광유 및 식물유 변압기의 온도상승 비교

그림 2는 광유 및 식물유에서 부하에 따른 절연유 상부 온도 변화를 측정된 그래프이다. 각 부하에서 온도포화상태가 되었을 때 측정된 것으로 열대류가 원활하지 못한 식물유의 경우가 높은 온도를 나타내었다. 바니시 함침 권선을 사용한 Tr.#1 변압기의 온도가 비함침 권선인 Tr.#2 변압기 보다 높았다. 바니시가 절연유 유동에 많은 영향을 주고 있다.

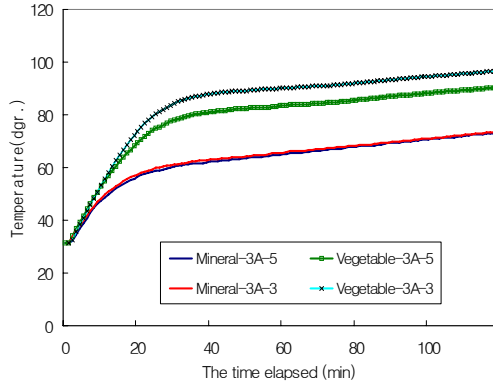


<그림 2> 부하율에 따른 과열점 온도 변화

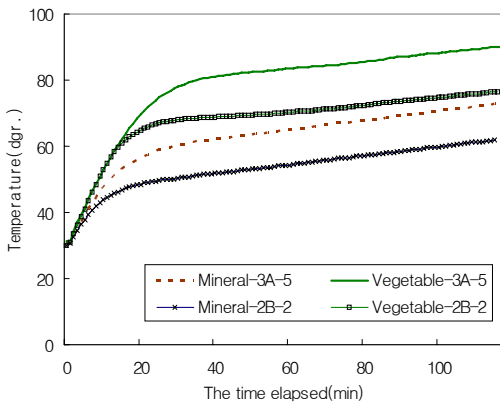
2.2 권선 내부온도 변화

절연유의 대류 시간을 비교하기 위해 그림 3은 무부하 상태에서 130% 부하로 급격히 상승시켰을 때 변압기 권선 최고온도(과열점) 위치에 설치된 센서에서 실시간으로 얻은 온도 상승 패

턴 그래프이다. 일반적으로 18시간 정도 지나야 온도가 포화되지만, 과부하 운전시간은 대부분 2시간 이내이므로 2시간 동안 측정된 데이터만 수록하였다. 권선의 과열점에서의 온도변화는 순간적인 과부하로 인해 초기에 급격히 증가하다가 절연유의 유동성이 증가함에 따라 온도상승이 완만해짐을 알 수 있다. 동일한 부하 조건에서 광유와 식물유에서의 과열점 온도상승 비교에 있어서 식물유는 점도가 높고, 열전도도가 낮아 상대적으로 열방산이 원활하지 못하여 과열점에서 발생된 열을 방사하는데 광유에 비해 많은 시간이 소요된다. 따라서 기존 변압기에서 광유 대체로 식물유를 주입하여 사용할 경우 과열점 온도가 최대 20℃ 정도 상승하게 되어 절연지 열화를 촉진시킬 수 있기 때문에 설계 변경 없이 적용하는 것은 적절치 못하다.



(a) 냉각 덕트가 없는 coil leg부



(b) 냉각 덕트가 있는 coil leg 부

<그림 3> 130% 부하 인가 시 온도상승 특성

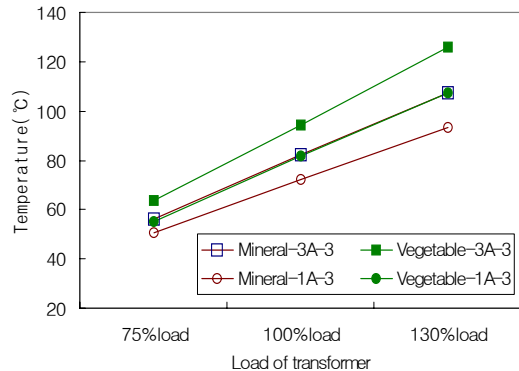
표 1은 130% 부하조건에서 각 위치별 권선내부 온도 편차를 나타낸 것이다. 3상변압기의 경우 3개의 권선이 절연지를 사이에 두고 인접한 위치에 있기 때문에 권선간 접하고 있는 부분의 온도가 가장 높게 나타난다. 즉 가운데 권선인 H2상의 철심내부 권선(position 3)의 온도가 가장 높다. 권선의 각 위치별 최고온도는 식물유 변압기와 광유 변압기의 차이가 크게 나타났다. 동일한 부하에서 권선 내부 온도 편차는 최고점에서 가장 크게 나타난다. 130 % 부하에서 식물유 변압기 권선 절연지 정격 내열온도를 초과하였기 때문에 IEEE Std C57.91의 수명곡선에 따르면 절연지가 받는 열적 스트레스는 급격히 증가한다는 것을 알 수 있다.

<표 1> 광유와 식물유 변압기의 최고 온도차 (부하율 130%)

		Position 1	Position 2	Position 3
Max. temp. (℃)	Mineral oil	105.7	93.3	107.5
	Vegetable oil	123.7	107.6	125.9
Deviation		18.0	14.3	18.4

그림 4는 철심으로 감싸진 부분의 1차권선에 삽입된 온도센서

에서 측정된 값이다. 여기서 3A-3의 위치는 변압기 권선의 최고 온도부로 측정된 곳이다. 동일 위치에서 부하 증가에 따라 거의 선형적으로 온도가 증가하였는데, 식물유가 광유에 비해 증가율이 큰 것으로 나타났다. 부하가 클수록 두 종류의 절연유간 온도 편차가 크게 나타났다. 따라서 식물유를 적용한 변압기 권선 설계에 있어서 광유와 다른 온도 상승곡선을 적용하여야 한다.



<그림 4> 부하율에 따른 변압기의 과열점 온도 상승

3. 결 론

배전급 변압기의 경우 권선 내부에 부분적으로 설치한 유덕트를 통해 절연유가 자연 대류하여 손실로 인해 발생한 열을 냉각하는 구조를 가졌기 때문에 절연유의 유동성과 열전도율이 수명에 중요한 영향을 미치게 된다. 동일한 설계를 갖는 변압기에 절연유를 점도가 높은 식물유로 대체 한 결과 권선의 최고온도는 100 % 부하에서 약 10℃ 정도 높게 나타났으며, 130% 부하에서는 18.4℃까지 높아졌다.

변압기 부하가 높을수록 두 변압기 사이의 온도상승 편차가 크게 나타나 절연지 열화로 수명감소가 크게 나타날 것이므로 권선 설계시 냉각효과를 보다 크게 하여 절연지 열화가 가속되는 것을 방지하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Rapp, K.J. McShane, C.P. Luksich, J, "Interaction mechanisms of natural ester dielectric fluid and Kraft paper", Dielectric Liquids, 2005. ICDL 2005. 2005 IEEE International Conference on pp.393 ~396, June. 26~July 1, 2005
- [2] ASTM D6871, "Standard Specification for Natural (Vegetable Oil) Ester Fluids Used in Electrical Apparatus" 2003
- [3] Jun Zhang, Guangning Wu, Jinlu Sheng, Lijun Zhou, "An On-line Condition Assessment and Diagnosis System for Traction Transformers Based on Dissolved Hydrogen Analysis", IEEE/DEIS, pp.101~104, 2004