

유입전력용 변압기의 수명평가 기술

박현주, 남창현, 윤여찬
한전 전력연구원

Assessing the Life of the Oil-filled Transformer

Park Hyun Joo, Nam Chang Hyun, Yoon Yeo Chan
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Oil-filled transformer technology has been around more than 100 years. The principle of operation in the same today as it has been for the previous decades. But all transformers have their life so it is important to know their useful life and the time for replacement. This paper will address this issue and provide the distribution transformer oil aging test results. Distribution transformer and laboratory specimens were externally heated to their respective maximum temperatures. Sample of oil and paper were removed at convenient intervals for testing. We believe that the results of this study will show the possibility of assessing the life of transformers.

1. 서 론

이전의 furan에 대한 연구는 분석기법이나 변압기에 대한 실험실적 시험에 초점이 맞춰져 있었다. 전형적인 연구방법은 용기 안에 오일과 종이를 구리나 철 등과 함께 넣어 변압기와 유사한 시스템을 만들어 열을 가하는 실험이었다. 이러한 연구방법은 재료시험에는 매우 우수한 방법이나 몇 가지 이유로 인해 실제 변압기와는 매우 다르다. 첫째, 변압기는 지속적으로 유동하는 전기적 부하나 온도를 수반하는 dynamic 시스템이다. 그렇기 때문에 오븐에서의 시험용기와 같이 일정한 내부온도를 가질 수 없다. 둘째, 현장의 변압기들은 오일 내에 산소나 수분의 농도에 영향을 미칠 수 있는 다양한 사용에 노출되어 있다. 그러나, 절연열화물의 농도와 열화조건과의 관계를 규명하는 최선의 방법이 된다. 이제까지 절연유중 가장 주된 물질은 2-furaldehyde였다. 보통 엔지니어들은 furfural 250ppb 이상의 1000kVA 또는 그 이상의 변압기에 대해 특별한 관심을 가진다. 그만큼 부하와 관련이 있기 때문이다. Furan은 CO₂보다 낮은 온도에서 생성되기 시작하므로 다른 방법에 비해 절연지의 파괴에 대한 초기 경고를 제공할 수 있다. 또한, furan과 수분과의 상관관계는 조금 미약하지만 전체적인 관점에서는 유효하게 받아들여진다. 물은 글루코오스 고리사이의 결합을 끊어서 셀룰로오스 사슬의 분해를 촉진하기 때문이다. 변압기 내에 사용되는 절연지가 열화되면서 강도가 감소하면 매우 중요한 문제가 발생한다. 주요한 절연지 분해 생성물은 2-furaldehyde 또는 furfural이며 열화의 진행 정도의 척도가 된다. 따라서, 가속열화시험을 통한 furfural의 농도증가 경향 및 이에 채취한 절연지의 평균중합도를 분석함으로써 변압기의 잔류수명을 어느 정도는 예측 가능할 수 있다.

2. 본 론

2.1 퓨란 유도체 분석에 의한 열화진단

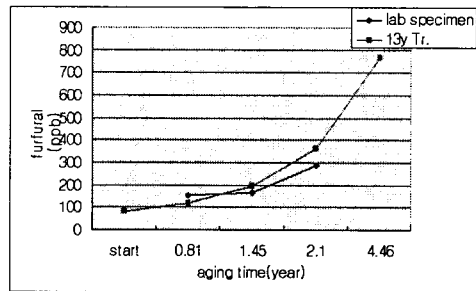
ASTM에 의한 퓨란화합물의 분석은 변압기에서 채취한 절연유에 아세트 니트릴을 가하고 혼든 다음 아세트니트릴층에서 일정량을 취하고 분취액에 물을 가하여 섞은 후 sep-pak 카트리지를 통과한 용출액을 모아서 HPLC로 분석한다. 이러한 방법은 상당한 시간이 소요될 뿐만 아니라 절연유 중에 용해되어 있는 퓨란화합물 전부를 추출할 수 있는지에 대한 의문점이 제기되어 최근에는 별도의 전처리 과정을 거치지 않고 절연유를 바로 분석할 수 있는 칼럼을 이용한 분석법을 사용한다. 분석조건은 아래와 같다.

〈표 1〉 Furfural 분석에 사용되는 HPLC 조건

column	Hamilton PRP-1 reversed phase type
injection volume	1 μ l, autosampler
eluent	CH ₃ CN : H ₂ O = 25 : 75 (v/v)
flow rate	0.5 μ l/min
detection wavelength	274nm

그동안 이 분석법을 이용하여 변압기들을 분석한 결과, 퓨란계 화합물 중 furfural만이 일정한 농도로 측정되었고 그 외 유도체들은 거의 감지되지 않았다. 또한, 가속열화시험에 의해 각 열화시간대별 채취한 시료들을 분석한 결과를 그림 1에 나타내었다. 13년 운전된 주상변압기에 대해 가속열화 시험 후 열화시간을 운전년수로 환산한 결과 약 18년이 되는 시점부터

furfural의 농도가 급격히 증가함을 볼 수 있었다. 실제 현장에서 운전된 변압기들에 대한 열화시험을 통해 적절한 수명을 평가하는 것이 바람직하며, 좀 더 많은 데이터의 확보가 중요하다.



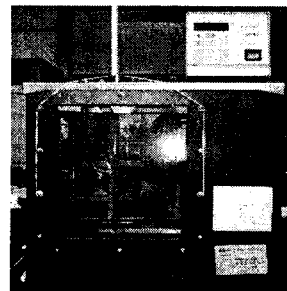
〈그림 1〉 가속열화시험에 의한 furfural 증가경향

2.2 절연지의 평균중합도 분석에 의한 열화진단

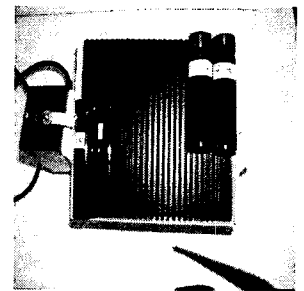
절연지의 수명에 대해 지금까지 보고된 문헌을 조사한 결과, 평균중합도 잔율이 40% ~ 60%의 시점을 수명으로 하는 것이 많이 나타났다. 본 연구에서는 열화시간별 절연지를 채취하여 각각의 furfural의 농도와 평균중합도를 분석하여 그 둘 사이의 상관관계를 도출하고자 하였다. 절연지는 전기용품 안전기준 IEC 1794에 의해 분석되었고, 분석장치는 그림 2, 3에 나타내었다. 절연지의 용해과정이 매우 어렵기 때문에 3회 반복시험에 대한 평균치를 적용하였으며 열화시간별 분석데이터는 그림 4에 나타내었다. 분석결과, furfural 농도에 의해 예측한 평균중합도와 실제 분석치와 거의 일치하고 있었다. 환산에 적용한 식은 다음과 같다.

$$\text{Log}(2 - \text{furfural}) = 1.51 - 0.0035(\text{DP})$$

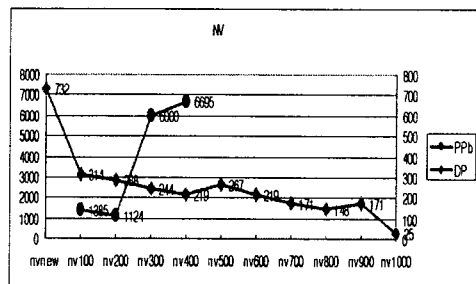
$$\text{Elapsed life(in years)} = 20.5 * \ln(1100/\text{DP})$$



〈그림 2〉 절연지 점도측정장치



〈그림 3〉 절연지의 용해과정



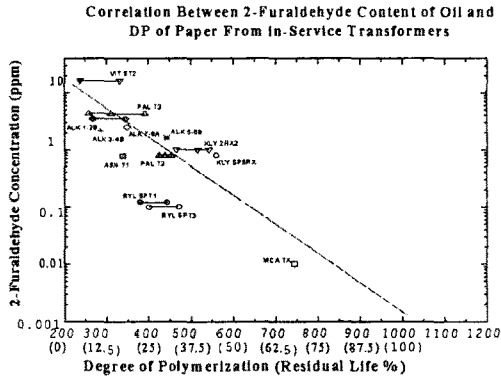
〈그림 4〉 Furfural과 평균중합도와의 관계

3. 결 론

변압기의 수명예측을 정확히 하는 것은 쉽지 않지만, 위와 같이 두 가지 방법으로 어느 정도의 예측은 가능하다. 평균중합도의 경우, 실제 운전 중인 변압기에서는 절연지의 채취가 불가능하기 때문에 가속열화시험에 의해 절연지의 평균중합도와 furfural 농도와의 관계를 설정하고 향후 furfural 농도로서 중합도를 예측하여 궁극적으로는 변압기의 잔류수명을 예측할 수 있을 것이다. 그러나, 수명예측에는 아직까지 많은 문제점들이 있다. 우선 열화지표성분량으로부터의 평균중합도 추정치가 어느 정도 정확성을 갖기 위해서는 향후 철거변압기들을 이용하여 실증데이터를 많이 확보해서 확인하면 좀 더 정밀도가 좋은 수명예측이 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] "절연유중 furfural 분석에 의한 변압기의 경년열화도 진단에 관한 연구", T.IEE Japan, vol.112-A, No.6, 1992.
- [2] M.C.Lessard, L.Van Nifterik, M.Masse, J.F.Penneau, C.Lammare, A.Gendron, M.Masse, J.F.Penneau and R.Grob, "Conference Record of the 1996 IEEE International symposium on Electrical Insulation", 533-537, 1996
- [3] Hisao Kan, Teruo Miyamoto, Yoshihiro Makino, Sadao Namba, Takashi Hara, "Absorption of CO₂ and CO gases and furfural in insulating oil into paper insulation in oil-immersed transformers", IEEE International symposium on electrical insulation, USA, June 5-8, 1994.

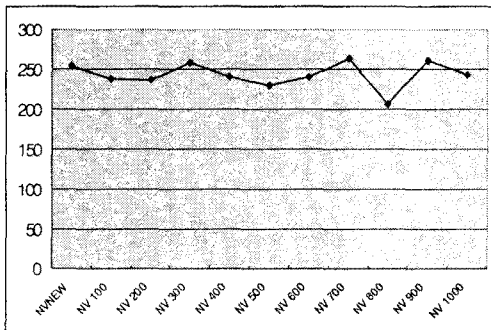


<그림 5> Furfural과 평균중합도에 의한 잔류수명 예측

그림 5은 furfural과 평균중합도와의 관계식을 도출한 후 변압기의 잔류수명을 예측하는 그래프이다. 아직까지 충분한 데이터가 확보되지 않아 자체적인 관계식을 도출하지는 못했고 향후 이런 방법을 통해 변압기의 잔류수명을 예측하고자 한다.

2.3 절연지의 열안정성 평가

절연지에 대한 평균중합도 분석과 함께 가속열화시간에 따라 얼마만큼 안정성이 저하되는지 확인하고자 TGA를 이용하여 열특성을 분석하고 그 결과를 아래 그림 6에 나타내었다. 분석결과, 절연지의 열안정성은 열화시간에 따라 큰 차이를 나타내지 않았으며 감소되는 경향성이 나타나지 않았다. 따라서, 절연지의 인장강도와 평균중합도 등의 물리적 특성만이 절연지의 열화특성을 정확히 평가할 수 있을 것이다.



<그림 6> 가속열화시간에 따른 절연지의 열안정성