

주상변압기 열화진단장치 개발에 관한 연구

이보호, 김재철, 김영춘, 김 훈, 민경래, 김연석  
 \* 송실대학교 전기공학과 \*\* 한국전기연구소

A study on the development of diagnosis device for pole transformer deterior

Bo-Hoo Lee, Jae-Chul Kim, Young-Chun Kim, Hun Kim, Oun-Seok Kim  
 \* Dept. of Electrical Engineering Soongsil Univ. \*\* KERI

**Abstract** - This paper describes the dissipation factor measuring device for insulating oil in operating pole transformer by DSP(digital signal processor). After applying voltage to the sensor which is installed in a transformer, acquire source voltage and current of sensor using FFT techniques, then we could evaluate the dissipation factor of insulating oil.

To improve measuring accuracy and processing speed, we use TMS320C31 DSP, FFT and data analysis techniques.

Also we suggest deterioration criterion of insulating oil and compared the developed diagnosis device with schering bridge on deteriorated insulating oil.

The result of this paper show that the developed measuring device can be used as diagnosis device for the pole transformers.

절연체에 소모되는 전력량이다. 일반적으로 양호한 절연체는 손실이 매우 적은 것을 말하며 손실이 큰 경우는 절연체 성능에 문제가 된다.

그림 1은 절연체의 병렬동기회로를 벡터도로 나타낸 것으로, 교류전압을 인가할 때 절연체에는 저항분 전류와 콘덴서분 전류의 합성전류가 흐른다. 여기서 유전정접은 콘덴서분 전류에 대한 저항분 전류의 비율이며 역률은 절연체에 흐르는 전체 전류에 대한 저항분 전류의 비로서 정의되며 결국 유전손실에 관련된 양들은 그림 1의 각 전류에 대하여 식(1)과 (2)를 이용하여 구할 수 있다[5].

$$\text{유전정접}(\tan \delta) = \frac{I_r}{I_c} = \frac{1}{\omega R_p C_p} \quad (1)$$

$$\text{역률}(\cos \theta) = \frac{I_r}{I} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_p^2 C_p^2}} \quad (2)$$

1. 서 론

주상변압기에 사용하는 절연유는 전기적 절연과 냉각작용의 중요한 역할을 담당하고 있으나, 변압기의 급격한 부하변동, 과부하 및 사고전류에 의한 온도변화 등에 기인한 경년열화의 영향을 받아 열화하여 절연내력 및 냉각능력이 현저하게 저하되는 경향이 있다[1]. 절연유가 열화하면 절연과피 전압, 산가, 체적저항, Tan δ(유전정접), 산화 안정도, 점도, 인화점, 색깔 등에 영향을 미치므로 이것들을 측정하면 경년열화의 정도를 판단 할 수 있다[2].

주상변압기 절연유의 열화정도를 판별하는데 어려운 점은 오일 채취 및 보관 등이 번거롭고 측정장치가 고가라는 점으로 지금까지 경년열화 정도를 판별하는 방법들은 비활선 측정 방법이었다. 이에 따라 현재 100여 만대에 이르는 주상변압기에 대한 신뢰성을 보장하기 위해서는 현장에서 손쉽게 측정 가능한 활선 열화 진단장치 개발이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 단점들을 보완하고자 운전중인 주상 변압기의 절연유의 유전정접을 활선상태에서 측정할 수 있도록 센서를 부착한 후 주기적으로 활선 측정 할 수 있는 진단 장치를 개발하였다. 변압기내에 설치된 센서를 통하여 센서신호 및 절연유 온도를 측정한 후 주파수 분석기법 및 신호처리 기법을 이용하여 유전정접을 측정한다. 측정정밀도 및 처리속도를 향상시키기 위하여 TMS320C31 DSP 칩과 16비트 A/D 변환기를 사용하였다. 또한 유전정접은 절대적인 수치의 크기보다는 변화의 경향이 중요하므로 변압기 고유번호별 자료구조(data-base)화하여 자료 보관 및 경향분석을 용이하게 하였다.

또한 기존의 절연유 열화판정기준을 기초로 하여 주상변압기 절연유의 온도별 열화판정기준을 설정하였으며 사례연구를 통하여 적용가능성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 역률과 유전율의 측정

절연체에서의 유전손실은 절연체에 교류전압을 인가하여

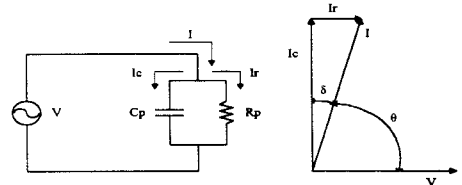


그림 1. 손실을 측정을 위한 단순 벡터도

일반적으로 절연유의 Tan δ는 schering bridge 등의 고가인 정밀급 측정 장비를 이용하여 측정하지만 그림 1의 벡터도에서 알 수 있는 바와 같이 Tan δ는 전압과 전류의 위상차를 측정함으로써 구할 수 있다[6-8].

2.2 절연유의 열화 판정기준

유전정접 관련 열화판정기준으로 IEEE규격, I.W.GROSS식 곡선, JEM-TR 171규격이 있다. 그러나 이러한 규격들은 측정 대상 및 조건에서 국내에 설치된 주상변압기 절연유의 열화 판정기준으로 바로 적용하기 어렵다. 그러므로 관련 규격들을 검토하여 절연유 유전정접의 온도에 대한 새로운 열화판정기준을 설정할 필요가 있다.

2.2.1 IEEE 절연역률 온도계수

IEEE Std. C57.12.90-1993 규격에서는 변압기 절연역률에 대한 온도보정 계수를 제시하였다[3]. 그러나, 여기서의 절연역률이란 절연유를 포함한 절연지, 프레스보드 등 변압기 내에 포함된 모든 절연물에 대한 종합적인 수치이다. 그러므로 절연유 자체에 대한 온도계수로 적용하기 위해서는 다각적인 검토가 필요하다. IEEE에서 제시한 절연역률 온도 보정 계수는 표 1과 같다[3].

표 1. 절연역률의 온도보정 계수

실험온도 T [°C]	보정계수 K
10	0.80
15	0.90
20	1.00
25	1.12
30	1.25
35	1.40
40	1.55
45	1.75
50	1.95
55	2.18
60	2.42
65	2.70
70	3.00

온도 보정방법은 20[°C]가 기준이 되며, 임의의 온도에서 측정된 절연역률은 해당온도의 보정계수 K로 나누어 기준온도에 대한 유전정점을 환산하면 된다.

2.2.2 I. W. GROSS식 판정법

변압기 절연유의 유전정점은 온도와 밀접한 상관관계가 있으며, 이러한 온도에 따른 열화판정 기준은 그림 2와 같은 I. W. GROSS식 곡선이 일반적으로 사용된다[4]. 그러나, 여기서 유전정점이란 변압기 권선간 등의 절연물 전체에 대한 온도에 따른 판정방법이므로 주상변압기 절연유 자체에 대한 열화판정 기준으로 적용하기에는 무리가 따른다.

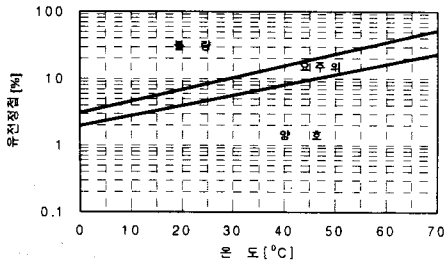


그림 2. 유전정점-온도특성 곡선

2.2.3 일본 전기공업회 절연유 유전정점 판정기준

JEM-TR 171 규격은 절연유 자체에 대한 열화판정기준을 제시하고 있다[4]. 이 또한 일본에서 사용되고 있는 절연유에 대한 판정기준이며, 온도변화에 대한 온도계수를 제시하지 못하고 있으며 측정인가전압의 주파수가 50[Hz]이므로 국내에 주상변압기 절연유의 열화판정에 적용하기는 곤란하다. 이 규격에서 제시한 조건 및 판정기준은 표 2와 같다[4].

표 2. 절연유의 유전정점 (50[°C], 50[Hz], 1,000[V] 기준)

양호	1.25[%]미만
요주의	1.25[%] ~ 5.0[%]
불량	5.0[%]초과

2.2.4 기존 절연유 판정기준의 문제점

기존의 변압기 절연유 판정기준의 시험조건은 측정 주파수가 50[Hz]이고, 측정전압은 1,000[V]라는 점에서 국내 상용 전압 주파수를 사용한 본 논문에서의 측정조건과는 다르며 다음과 같은 판정기준의 차이점을 갖고 있다.

- (1) IEEE 규격에서는 변압기 절연물(절연유 포함)에 대한 유전정점의 온도계수만 제시하였으며 열화판정 기준은 제시하지 않았다.
- (2) JEM-TR 171 규격에서는 절연유 자체에 대한 유전정점의 열화판정기준을 제시하였으나 측정 조건이 50[°C], 50[Hz], 1,000[V] 기준으로 본 논문에서 사용한 국내 상용 전압 주파수와는 차이를 보이며 온도에 따른 열화판정기준을 제시하지 못하고 있다.
- (3) IEEE 규격에서 70[°C]에서 온도계수는 20[°C] 기준으로 3.00이고, I. W. GROSS식 곡선에서 환산해본 70[°C]에서 온도계수는 20[°C] 기준으로 대략 6정도로 2배 정도 차이가 난다.

위에서 살펴본 바와 같이 기존의 절연유 열화판정 기준은 국내 현실과 차이를 보이는 문제점을 보완하고자 본 논문에서는 다음과 같은 절연유 유전정점의 온도에 따른 열화판정 기준을 설정하였다.

- (1) 절연유 자체에 대한 열화판정 기준은 JEM-TR 171의 규격을 따른다.
- (2) IEEE 규격의 유전정점 온도계수는 실질적으로 적용하기 어려운 조건이므로 온도에 따른 유전정점 온도계수는 일반적으로 알려진 I. W. GROSS식 곡선에서 추출하여 사용한다.
- (3) 결론적으로 본 논문에서 제안한 절연유 유전정점의 온도에 따른 열화판정 기준은 I.W. GROSS식 곡선에서 50[°C]을 기준으로 아래 곡선은 1.25[%]가 되도록 아래로 수평이동하고, 위 곡선은 50[°C]을 기준으로 5.0[%]가 되도록 아래로 수평 이동한다.
- (4) 측정전압은 교류 1,000[V]로 하고 측정주파수는 60[Hz]로 한다.

본 논문에서 제시한 절연유 유전정점의 온도에 따른 판정곡선을 위의 (3)항에 따라 도시해 보면 그림 3과 같다.

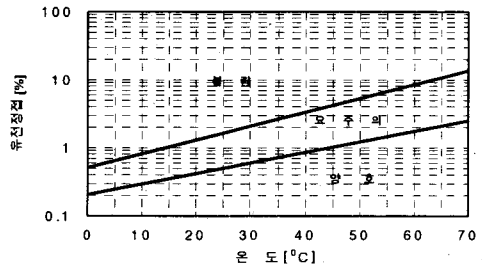


그림 3. 제시한 유전정점-온도특성 곡선

3. 사례연구 및 결과 검토

3.1 장치 구성

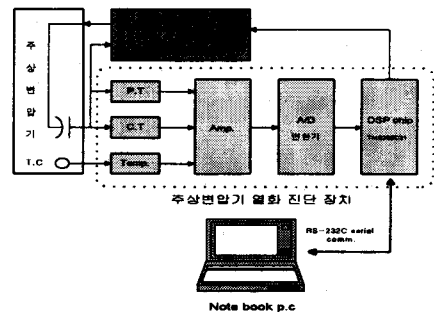


그림 4. 측정 시스템 블록도

본 논문에서 제안한 주상변압기 열화진단장치의 시스템 구성도는 그림 4와 같으며 제안한 장치를 이용하여 전압과 전류 신호를 취득한 후 두 신호의 위상차를 구하는 방법에 의해 유전정접을 구한 파형의 모습은 그림 5와 같다.

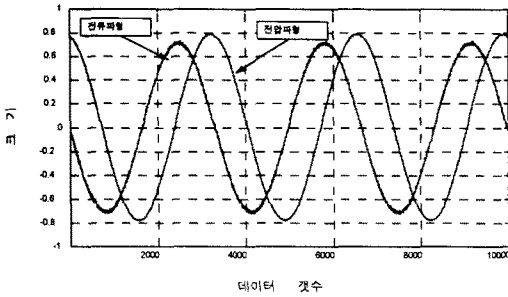


그림 5. 취득한 전압 및 전류 파형

### 3.2 사례연구

아래 표 4에 나타난 것과 같은 5종류의 시료를 대상으로 측정온도를 변화시키며 주상변압기 열화 진단장치를 이용하여 실험을 실시하였다.

표 3. 열화된 절연유 사양

시료 번호	정격전압[V]	용량[kVA]	제조년월	비고
#1	22,900/220/105	75	1985.7	고장 철거용
#2	22,900/3,300	300	1987.2	교체용
#3	22,900/220	50	1987.9	교체용
#4	22,900/230/115	75	1984.3	교체용
#5	22,900/220	200	1985.8	수리 대기중

### 3.3 제안된 열화 판정계수의 적용결과

본 논문에서 제안한 주상변압기 열화진단장치의 유용성을 검증하기 위하여 각 시료에 대한 실험결과를 제안한 판정 곡선 위에 온도별로 그림 6과 같이 나타내 보았다. 그림 6에서 가로축은 측정온도를 가리키며, 세로축은 유전정접을 백분율로 표시하고 있다. 그래프 양식은 GROSS식 곡선과 같이 세미-로그식으로 하였다.

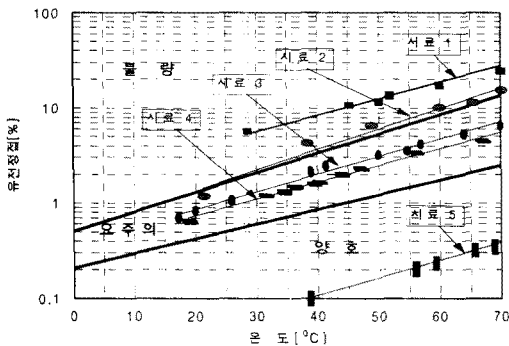


그림 6. 제안된 유전정접-온도특성 적용결과

위의 결과로부터 50[°C]에서의 판정은 온도변화에 관계없이 대부분 계속 유지됨을 알 수 있다.

제시한 절연유 열화 판정기준으로 볼 때 시료 #1과 #2는 불량인 시료이며, 시료 #3과 시료 #4는 요주의 시료이며, 시료 #5는 양호한 시료로 판정할 수 있다.

결론적으로, 이 판정 그래프를 이용하면 주상 변압기의 절연유 유전정접을 어느 온도에서 측정하여도 열화판정이 가능하다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 실시간 측정이 가능한 주상변압기 열화 진단장치를 개발하였으며 사례연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 논문에서 제안한 주상변압기 열화 진단장치를 적용하여 열화된 절연유의 유전정접을 측정된 결과, 이는 지금까지 상당히 부진했던 주상 변압기의 활성 절연진단에 사용할 수 있음을 확인하였다.
- (2) FFT의 위상 스펙트럼 기법으로 절연유의 유전정접을 측정할 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 주상변압기 열화 진단장치는 DSP processor를 사용하여 구성할 수 있기 때문에 고가인 아날로그 방식인 Schering Bridge를 대체하여 현장에서 유전정접 측정에 의한 진단장치로 활용할 수 있음을 알 수 있었다.
- (3) 개발한 진단장치는 FFT 및 디지털 신호처리 기법을 이용하여 사용이 간편하고 노이즈에 강한 특성이 있다. 즉, Schering Bridge의 사용이 복잡하며, 전압-전류-전력계법 및 위상차법의 노이즈에 약한 단점을 개선하였다.
- (4) 절연유의 유전정접에 대하여 온도에 따른 열화판정 기준을 제안하였으며, 사례연구 결과 실제 적용할 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 기초전력공학공동연구소의 지원으로 이루어진 연구 결과입니다.

### [참 고 문 헌]

- (1) 한국전력기술연구원, 전력기기 예방진단 기술연구(최종 보고서), pp.18-19, 1985. 1.
- (2) 김재철 외, "전력용 변압기 절연유의 비파괴 진단시험법의 비교연구", 대한전기학회 논문지, Vol.40, No.3, pp.799-Aug., 1991.
- (3) IEEE Std C57.12.90-1993, IEEE Standard Test Code for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers and IEEE Guide for Short-Circuit testing of Distribution and Power transformers.
- (4) JEM-TR 171, 배전용 6kV 유입변압기의 보수, 점검지침, 일본전기공업회 기술자료, 일본전기공업회, 1993.
- (5) IEEE Std. 4-1995, IEEE Standard Technique High-Voltage Testing.
- (6) J.C.Kim et al., "The measuring Technique of Tan δ using DSP" ICEE'96 No 1, pp.403-40, Aug., 1996.
- (7) 기초전력공학공동연구소, DSP를 이용한 주상변압기 Tan δ 측정 기법 연구(최종 보고서), 1996. 9.
- (8) 김재철 외, "DSP를 이용한 주상변압기 유전정접 측정기법 연구" 한국조명·전기설비학회지, Vol. 11, No. 2, April, 1997.