

FFT를 이용한 주상 변압기의 열화 진단 장치에 관한 연구

(A Study on the Deterioration Diagnosis Device of Pole Transformer using FFT)

윤용한* · 김영춘** · 김재철***

(Yong-Han Yoon · Young-Chun Kim · Jae-Chul Kim)

요 약

본 논문에서는 주상 변압기의 유전정점 측정과 FFT의 이용으로 활선 상태에서 진단할 수 있는 열화 진단 장치를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치는 활선 상태에서 절연유의 온도와 유전정점을 측정하며, 진단 결과를 FFT로 처리한다. 진단용 센서에 인가하는 시험 전압은 주상 변압기 2차측 전압의 이용으로 외부의 추가 장치 없이도 진단이 가능하다. 또한, 무선 데이터 통신을 이용하여 진단 정보를 지상에서 수신함으로써 주상 변압기의 감시를 별도의 추가 설비 없이 손쉽게 가능하도록 하였다. 시험 전압 가변 실험과 온도 가변 실험을 통하여 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치의 유용성을 입증하였다.

Abstract

This paper proposes on-line based a deterioration diagnosis device for diagnosis pole transformers using $\tan \delta$ and FFT(fast Fourier transform). We measured $\tan \delta$ and temperature to diagnose pole transformer insulating oil, diagnostic results are processed by FFT. For measuring convenience, we use R/F(radio frequency) wireless data communication module operating by secondary voltage of pole transformer. We have voltage variation test and oil temperature variation test to prove usability of proposed diagnosis device. The result of this paper shows that the proposed device can be used as deterioration diagnosis device of pole transformers.

Key Words : $\tan \delta$, pole transformer, FFT, R/F wireless data communication, deterioration diagnosis device

1. 서 론

냉방 부하, 편의 시설 및 정보 처리 설비의 증가로 전력 사용량이 증가되고 있으며, 이러한 현상은 부하

집중 지역 확대 및 부하 편중 심화로 나타난다. 또한, 전력 시스템 말단에 위치한 주상 변압기는 부하량의 불규칙한 변화, 과열 현상 및 외부 환경에 기인한 열화 등으로 잦은 절연 파괴 사고에 따른 인적, 물적 피해가 발생하고 있다[1-8].

국내의 154[kV] 및 345[kV]급 전력용 변압기에 대해서는 PD(partial discharge) 측정법, 유중 가스 분석

*정회원 : (주)테크빌 개발부 차장 · 공학박사
 **정회원 : 한국건설기술연구원 연구원 · 공학석사
 ***정회원 : 숭실대학교 전기공학과 교수 · 공학박사
 접수일자 : 2000년 4월 25일

FFT를 이용한 주상 변압기의 열화 진단 장치에 관한 연구

법, 진동 측정법 등에 의한 예방 진단 연구가 활발히 추진중이고 실용화 단계에 있으나, 설치 대수가 114만 여대에 이르고 지역적으로 넓게 분포한 주상 변압기는 이와 같은 방법을 적용하기에는 현실적, 경제적으로 곤란하다.

현재 주상 변압기 관리는 사후 조치만 하고 있는 실정으로 일정 주기마다 시행하는 간이 수리와 중 수리에 의하여 변압기 상태를 확인하고 있으나, 변압기를 전주로부터 철거해야 하므로 정전 및 관리 비용의 증대를 수반하게 된다. 그러므로 현재의 관리 방안인 시간 기준법으로는 신뢰성있는 전력 공급이 불가능하므로 상태 기준법에 의한 변압기 진단 관리 방안이 필요하다. 상태 기준법에 의한 유지 관리를 위해서는 기존의 진단 장치로는 여러 가지 어려움[4]이 있으므로 활선 상태에서 손쉽게 진단이 가능하고, 디지털화된 주상 변압기의 열화 진단 장치가 필요하다[6-8]. 그러나 현재 국내에서 개발되어 있는 주상 변압기의 감시 및 진단 장치는 디지털화되어 있지만 비활선 상태에서 운용되는 단점이 있다[5].

본 논문에서는 주상 변압기의 열화 상태를 절연유의 유전정점 이용으로 활선 상태에서 진단할 수 있는 주상 변압기 열화 진단 장치를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치는 활선 상태에서 주상 변압기의 절연유 온도와 유전정점을 측정하여 진단하도록 하였으며, 진단용 센서에 인가하는 시험 전압을 주상 변압기 2차측 전압을 이용하여 별도의 추가 장치 없이도 진단이 가능하도록 하였다. 또한, 무선 데이터 통신을 이용하여 진단 정보를 지상에서 수신함으로써 주상 변압기의 진단을 손쉽게 가능하도록 하였다. 시험 전압 가변 실험과 온도 가변 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치의 유용성을 입증하였다.

2. 유전정점과 신호 처리

2.1 유전정점과 위상차 관계

일반적으로 커패시터에 교류 전압을 인가하면 손실이 전혀 없는 경우에는 인가된 전압에 대하여 90도 앞선 전류가 흐른다. 그러나 실질적으로는 손실이 존재하므로 90도가 되지 않은 전류 I가 흐른다.

그림 1의 가로축은 인가된 전압의 크기를 나타내고, 세로축은 전류의 크기를 나타내는 것으로 손실에

의해 두 파형의 위상차가 90도가 되지 않음을 나타내고 있다. 여기서, $\tan \delta$ 를 유전정점이라 한다. 이러한 유전정점을 측정하기 위해서는 디지털 신호 처리 기법을 이용하여 위상차 측정용 커패시터 센서 양단의 인가 전압 및 흐르는 전류를 측정하여 두 파형의 위상차 θ 를 구한 후 $90^\circ - \theta$ 로 손실각 δ 를 구할 수 있다[4-5]

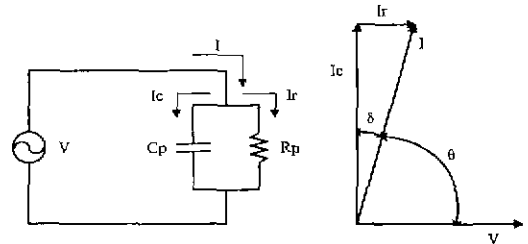


그림 1. 절연체에 있어서 전류-전압 벡터
Fig. 1. Vector diagram of voltage-current in insulator

2.2 절연유의 유전정점 판정 기준

유전정점에 관련된 열화 판정 기준으로는 IEEE 규격, Gross 곡선, JEM-TR 171 규격이 있으나, 이러한 규격들을 절연유의 유전정점 판정 기준으로 직접 적용하기 어렵다[6]. 그러므로 관련 규격들을 검토하여 절연유 유전정점의 온도에 대한 열화 판정 기준을 설정할 필요가 있으며, 이에 따른 현재의 문제점은 다음과 같다.

- (1) IEEE 규격에서는 변압기 절연물(절연유 포함)에 대한 유전정점의 온도 계수만 제시하였으며, 열화 판정 기준은 제시하지 않았다.
- (2) Gross 곡선에서는 변압기 절연물(절연유 포함)에 대한 유전정점의 온도에 따른 판정 기준을 제시하였다. 그러나 주파수는 고려하지 않았다.
- (3) JEM-TR 171 규격에서는 절연유 자체에 대한 유전정점의 열화 판정 기준을 제시하였다. 그러나 측정 조건은 50[°C], 50[Hz], 1,000[V] 기준이다.
- (4) IEEE 규격에서 70[°C]에서 온도 계수는 20[°C] 기준으로 3이고, Gross 곡선에서 환산해 본 70[°C]에서 온도 계수는 20[°C]로 환산한 결과, 6 정도로 2배 차이가 난다.

위의 문제점을 보완하고자 본 논문에서는 다음과 같은 절연유 유전정점의 온도에 따른 열화 판정 기준

을 설정하여 진단 프로그램에 활용하였다.

- (1) 절연유 자체의 열화 판정 기준은 JEM-TR 171을 사용하였다.
- (2) IEEE 규격의 유전정접 온도 계수는 상당히 가혹한 조건이므로, 온도에 따른 유전정접 온도 계수는 Gross 곡선을 사용하였다.
- (3) 본 논문에서 사용한 유중 온도에 따른 유전정접 판정 기준은 Gross 곡선을 50[°C] 기준으로, 정상-요주의 경계 곡선은 1.25[%]가 되도록 아래로 수평 이동하고, 요주의-불량 경계 곡선은 5.00[%]가 되도록 아래로 수평 이동하여 사용하였다.

본 논문에서 사용한 유중 온도에 따른 유전정접 판정 기준은 그림 2와 같다.

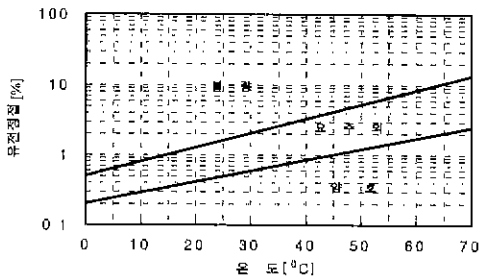


그림 2. 온도-유전정접 특성 곡선
Fig. 2. Temperature-tan δ characteristic curve

2.3 유전정접 측정에 사용 가능한 신호 처리 기법

신호 처리 기법의 이용으로 위상각을 구하는 방법은 전압, 전류, 전력을 이용한 기법, 상호 상관 함수 기법, FFT에 의한 위상 스펙트럼 등이 있다[9-10].

전압, 전류, 전력을 이용한 기법은 커패시터에 인가된 전압 및 커패시터에 흐르는 전류와 전력을 구한 후 $P = VI \cos \theta$ 의 공식에 의해 위상차 θ 를 구할 수 있다.

상호 상관 함수 기법은 두 신호의 위상차 또는 유사성을 구하는데 이용되며, 잡음이 포함된 신호의 검출, 복원 및 주기 검출 등에 응용된다. 결과의 최대치에 해당하는 데이터 수가 두 신호의 위상차 θ 를 나타낸다.

푸리에 변환은 주어진 신호를 주파수의 함수로 변

환시키며 그 신호에 포함되어 있는 주파수 성분을 쉽게 알 수 있다. 푸리에 변환은 비주기 함수도 연속적인 무수히 많은 정현파 성분의 합으로 나타낼 수 있다. FFT(fast Fourier transform) 분석법은 FFT 결과를 이용한 것으로 주파수 대 진폭, 주파수 대 전력, 그리고 주파수 대 위상을 나타낼 수 있다. 이 방법은 기본파 및 고조파의 위상을 두 신호에 대해서 각각 구한 다음 기본파 위상 즉, 60[Hz] 성분의 위상차 θ 를 구할 수 있다. 결국, 절연유의 유전정접은 인가 전압 및 전류 파형을 구한 후, 두 파형의 위상차 θ 를 구하면 간접적으로 측정할 수 있다.

3. 측정 알고리즘 시뮬레이션

절연유의 유전정접을 측정할 수 있는 디지털 신호 처리 기법들의 정밀도를 알아보기 위해 전압 및 전류 조건을 가정한 후, MATLAB[11]을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 전압과 전류의 위상차는 65도에서 90도까지 5도 단위로 변화시키면서 한 주기에 대한 표본화 수는 1024개로 설정하였다.

3.1 측정 신호에 노이즈와 고조파가 없는 경우

그림 3은 환전 상태에서 변압기 절연유의 유전정접을 측정하기 위해 커패시터 센서 양단의 전압 파형과 커패시터에 흐르는 전류 파형을 모의한 것으로 전압 및 전류 파형에 노이즈와 고조파가 없는 경우이다. 측정 신호에 노이즈와 고조파가 없는 경우 FFT 기법, 상호 상관 함수 기법, 제로크로싱 기법 모두 상정한 위상차인 65도에서 90도를 정확히 나타내었다.

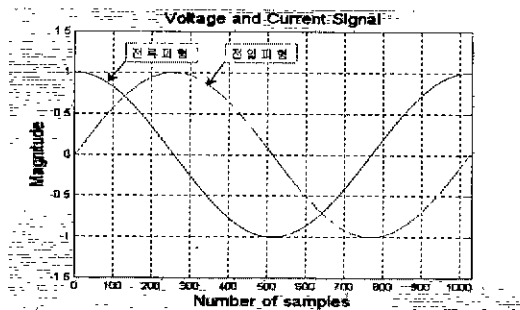


그림 3. 90° 위상차를 가진 전압, 전류 신호
Fig. 3. Voltage and current signal with 90° phase difference

3.2 측정 신호에 노이즈와 고조파가 포함된 경우

주상 변압기 절연유의 열화 상태를 알아보기 위해 설치한 진단용 커패시터 센서로부터 전압, 전류의 신호 파형을 측정할 경우 전류 파형은 그 크기가 상당히 적으므로 노이즈를 포함하게 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치에 사용한 FFT 기법의 노이즈 및 고조파에 대한 강인성과 정확성을 알아보기 위해 표 1과 같은 사례별 시뮬레이션을 수행하였다[12].

표 1. 노이즈와 고조파가 포함된 경우의 시뮬레이션 조건
Table 1. Simulation condition of each case with noise and harmonics

신호 사례	전압 파형	전류 파형
사례 #1	백색잡음 1.0[%] 3고조파 0.3[%] 5고조파 0.1[%]	백색잡음 1.0[%] 3고조파 2.0[%] 5고조파 0.0[%] 7고조파 0.0[%]
사례 #2	백색잡음 1.0[%] 3고조파 0.3[%] 5고조파 0.1[%]	백색잡음 5.0[%] 3고조파 5.0[%] 5고조파 3.0[%] 7고조파 2.0[%]

각 사례별 시뮬레이션 결과는 실제값에 대한 평균 오차로서 오차의 범위를 줄이기 위해 10회 반복한 값이다. 활성 상태에서 취득한 파형에 적용하는 평균 위상차는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{avg} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \theta_i \quad (1)$$

여기서,

θ_{avg} : 평균 위상차

M : 측정 횟수

손실각 δ 는 그림 1의 벡터도에 의해 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\delta = \pi/2 - \theta \quad (2)$$

최종적으로 식 (2)의 손실각 δ 에 탄젠트(tangent)를 취함으로써 유전정점을 구할 수 있다.

그림 4는 노이즈와 고조파가 포함된 경우의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다.

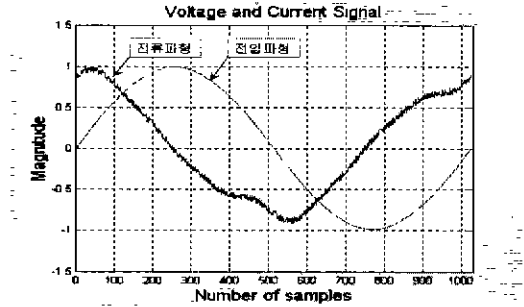


그림 4. 전압 및 전류 파형
Fig. 4. Voltage and current signal

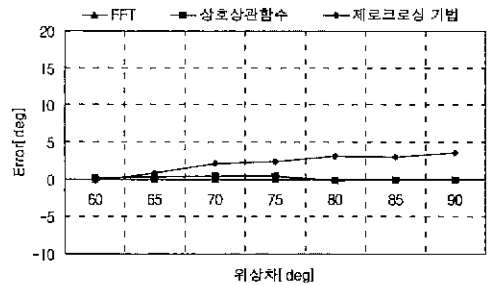


그림 5. 사례 #1의 결과
Fig. 5. Result of case #1

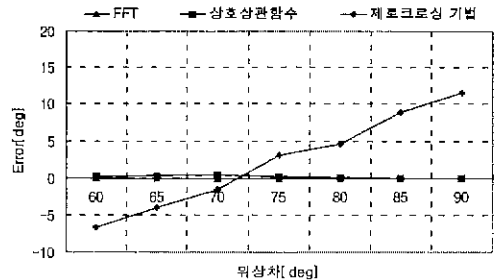


그림 6. 사례 #2에 대한 결과
Fig. 6. Result of case #2

그림 5는 사례 #1의 시뮬레이션 결과이며, 가로축이 위상차로 $\tan \delta$ 의 값을 고려하여 전압과 전류의 위상차를 65도에서 90도까지 5도 단위로 변화시키면서 시뮬레이션 하였다. 세로축은 실제값에 대한 평균

오차이며, 정확도를 위하여 10회 반복하여 평균한 값이다. 그림 6은 사례 #2에 대한 결과이며, 전류 파형의 고조파가 증가함에 따라 FFT 기법과 상호 상관 함수 기법은 오차가 거의 없었지만, 제로크로싱 기법은 상당한 오차를 있음을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과 제로크로싱 기법이 오차가 가장 컸으며, FFT 기법과 상호 상관 함수 기법은 비교적 정확한 결과를 나타내었다. 본 논문에서는 보다 정확하고, 노이즈에 강인한 FFT 기법을 유전정접 측정에 이용하였다.

4. 주상 변압기 열화 진단 장치

본 논문에서 제안한 FFT 기법의 이용으로 절연유의 유전정접을 측정하기 위해 하드웨어 및 소프트웨어를 제작하였다. 하드웨어는 마이크로 프로세서, A/D 변환기, ASTM test cell의 진단용 커패시터 센서로 구성되어 있다. 주상 변압기의 열화 진단을 위한 하드웨어 구성은 그림 7과 같다.

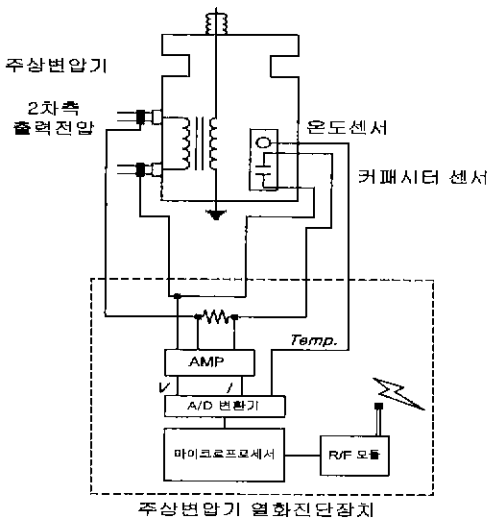


그림 7. 시스템 블록도
Fig. 7. System block diagram

소프트웨어는 유전정접 측정 프로그램과 진단 프로그램으로 구성되어 있으며, FFT 연산 프로그램, A/D 변환기 프로그램, 무선 통신 프로그램, 경향 분석 프로그램, 화면 처리 프로그램 등으로 구성되어 있다[13-15].

그림 8은 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치를 설치한 변압기를 진단 차량을 이용하여 운전 상태에서 진단하는 방법을 나타낸 것이다.

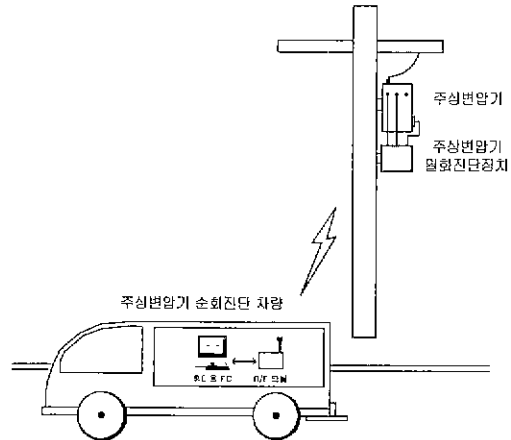


그림 8. 진단 차량을 이용한 주상 변압기 열화 진단
Fig. 8. Vehicle with developed device to diagnose pole transformer

4.1 하드웨어 구성

주상 변압기 절연유 속에 커패시터 센서와 유중 온도를 측정할 수 있는 열전쌍 온도 센서를 설치하였다. 커패시터 센서에 인가하는 전압은 주상 변압기의 2차측 전압을 이용하였으며, 마이크로 프로세서에 통신 프로그램을 탑재하여 무선 RS-232C 방식으로 진단 차량에 주상 변압기의 고유 번호, 온도 및 절연유의 열화 상태를 전송하도록 하였다. 순회 진단 차량의 휴대용 PC는 진단하고자 하는 변압기로부터 입력된 관리 번호, 유전정접, 절연유의 온도 등을 데이터베이스화하고, 진단 결과를 모니터로 출력한다.

4.1.1 센서부

센서부는 커패시터 센서에 흐르는 전압, 전류 측정부와 온도 측정부로 구성되어 있다. 커패시터 센서의 크기, 모양, 부착 위치 등 또한 연구 대상이므로 본 연구에서는 배제하였으며, ASTM 표준 규격을 만족하는 커패시터 센서를 사용하였다. 커패시터 센서에 인가된 전압은 PT를 통하여 $\pm 5[V]$ 범위로 조정하였으며, 전류의 경우는 정밀 저항을 사용하여 측정하였다. 온도 측정을 위해서는 열전쌍을 이용하였다.

FFT를 이용한 주상 변압기의 열화 진단 장치에 관한 연구

4.1.2 증폭 회로부

본 논문에서 사용한 FFT 기법을 이용한 유전정점을 측정하기 위해서 전압 신호는 입력 신호가 크므로 그 크기를 줄이는 반면, 전류 신호는 상당히 작게 나타나므로 그 크기는 증폭시켜주는 부분이 필요하다. 증폭 회로부는 OP-Amp를 이용하여 구성하였으며, 센서부로부터 측정된 전압, 전류, 온도를 A/D 변환하기에 적절한 크기로 증폭하는 역할을 담당한다. 증폭 회로 후단에는 리미터를 설치하여 입력된 각 신호로부터 후단 회로부를 보호하도록 하였다.

4.1.3 A/D 변환부

측정한 전압, 전류, 온도 등의 신호를 마이크로 프로세서로 처리하기 위해 디지털 신호로 변환하는 부분으로 one-chip 마이크로 프로세서에 내장된 10bit A/D 변환기를 사용하였다. A/D 변환기 전단에 저역 통과 필터를 설치하여 전류 신호에 포함된 노이즈를 제거하였으며, 마이크로 프로세서에 내장된 프로그램을 통하여 증폭부 및 A/D 변환기에 따른 신호의 지연 시간을 보상하였다.

4.1.4 마이크로 프로세서

측정한 전압, 전류, 온도 등의 신호를 처리하는 프로그램을 내장하고 있으며, 순회 진단용 차량에서 전송하는 각종 정보를 통신 프로그램의 이용으로 처리한다. 또한, 취득한 신호로부터 FFT 기법을 이용하여 유전정점을 계산하는 부분이다. 본 논문에서는 DSP 프로세서를 이용하여 고속의 신호 처리를 수행하도록 하였으나, 진단 대상인 주상 변압기의 가격이 전력용 변압기보다 상대적으로 저렴하므로 DSP 프로세서를 사용하기에는 경제적으로 어려운 점이 있다. 결국, 본 논문에서 사용한 FFT 기법의 가능성을 검토하는 단계에서는 TI사의 TMS320C31 DSP 프로세서를 사용하였으나, 제작 단계에서는 INTEL사의 80C196KC 프로세서를 사용하였다.

4.1.5 무선 통신 모듈

주상 변압기로부터 취득한 신호로 처리된 각종 정보를 진단 차량에 전송하는 기능을 담당한다. 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용하는 직렬 통신을 이용하여 무선 데이터 통신을 구현하였다. 본 논문에서 제안한 열화 진단 장치 구성에 있어서 측정의 편리를

위해 사용한 무선 데이터 통신 모듈의 사양은 표 2와 같다. 그림 9는 송신 데이터의 구성을 나타낸 것으로, 송신 데이터는 측정 대상 주상 변압기의 관리 번호, 유전정점, 온도 등의 정보를 포함하게 된다.

표 2. 무선 데이터 통신 모듈의 사양
Table 2. Specification of R/F wireless data communication module

TRANSMITTER	
Frequency	447[MHz] Band
RF power	Less then 10[mW]
Spurious ratio	-40[dB] or more
Frequency type	F1D
Bandwidth	Less then 8.5[kHz]
Oscillation method	Crystal oscillation
Number of channels	1 Channel
Data input	TTL Level (0/5[V])
Supply voltage	DC 5[V]±5[%]
Current consumption	Approximately 22[mA]
Baud rate	Max 4800[bps]
Temperature range	-10~+10[°C]
RECEIVER	
Frequency	447[MHz] Baud
Sensitivity	-100[dBm] or more
SQL sensitivity	-110[dBm] or more
Frequency type	F1D
Bandwidth	Less then 8.5[kHz]
Oscillation method	Crystal oscillation
Number of channels	1 Channel
Data output	TTL level (0/4.5[V])
Supply voltage	DC 5[V]±5[%]
Current consumption	Approximately 22[mA]
Baud rate	Max 4800[bps]
Temperature range	-10~+10[°C]

4.1.6 진단 차량용 휴대용 PC

순회 진단 차량은 일반 휴대용 PC를 장착한 후, 무선 송·수신 모듈을 연결하여 진단하고자하는 지역의 주상 변압기로부터 수신된 각종 정보를 처리하여 진단 결과를 알려주게 되며, 이러한 각종 정보를 데이터베이스화하여 그 변화 추이를 알아보기 쉽도록 한다. 본 논문에서는 이동이 간편한 노트북 컴퓨터를 사

용하였다. 본 논문에서 사용한 측정용 휴대용 PC와 무선 데이터 통신 모듈간의 접속을 위한 회로 구성은 그림 10과 같다.

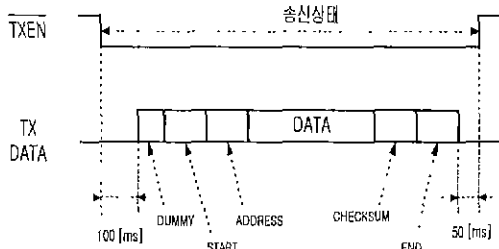


그림 9. 송신 데이터의 구성
Fig. 9. Transmission data configuration

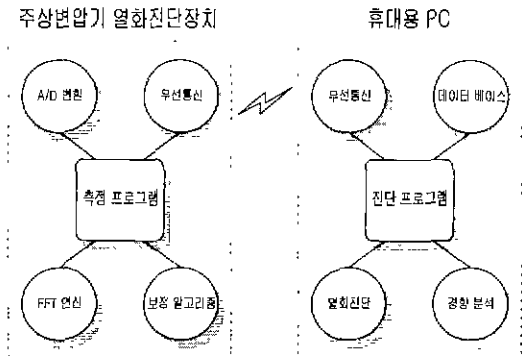


그림 11. 소프트웨어의 구성
Fig. 11. Software configuration

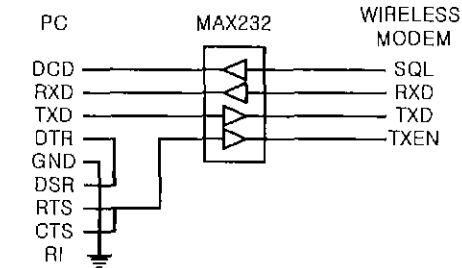


그림 10. 휴대용 PC와 무선데이터통신모듈의 접속도
Fig. 10. Connection diagram of note book PC and R/F data communication module

4.2 소프트웨어 구성

주상 변압기 열화 진단 장치에 사용된 소프트웨어는 크게 측정 프로그램과 진단 프로그램으로 구성되어 있으며, 그림 11에 나타내었다.

측정 프로그램은 센서로부터 A/D 변환기를 통하여 전압 파형과 전류 파형 그리고 온도 데이터를 입력받은 후, FFT 기법을 이용하여 유전정점을 계산하고, 변압기 관리 번호, 유전정점, 절연유 온도 등의 변압기 진단 관련 정보를 직렬 무선 통신 프로그램을 통하여 진단용 휴대용 PC로 전송한다. 진단 프로그램에서는 전송 받은 변압기 진단 관련 데이터를 화면에 표시해주고, 유중 온도에 따른 유전정점 판정 기준에 따라 현재 변압기의 열화 상태, 즉 정상, 주주의, 불량으로 표시한다. 또한, 전송 받은 변압기 정보는 데이터베이스화하여 과거 데이터들과 현재 데이터를 이용하여 열화 경향을 분석하게 된다.

그림 12는 측정 프로그램과 진단 프로그램의 흐름도를 나타낸 것으로, 측정 프로그램은 평상시 일정 주기마다 절연의 유전정점을 측정하고, 휴대용 PC에 장착된 진단 프로그램으로부터 정보 요청 신호를 수신했을 경우 판련 정보를 전송하게 된다.

5. 사례 연구 및 결과

5.1 시험 전압 가변 실험

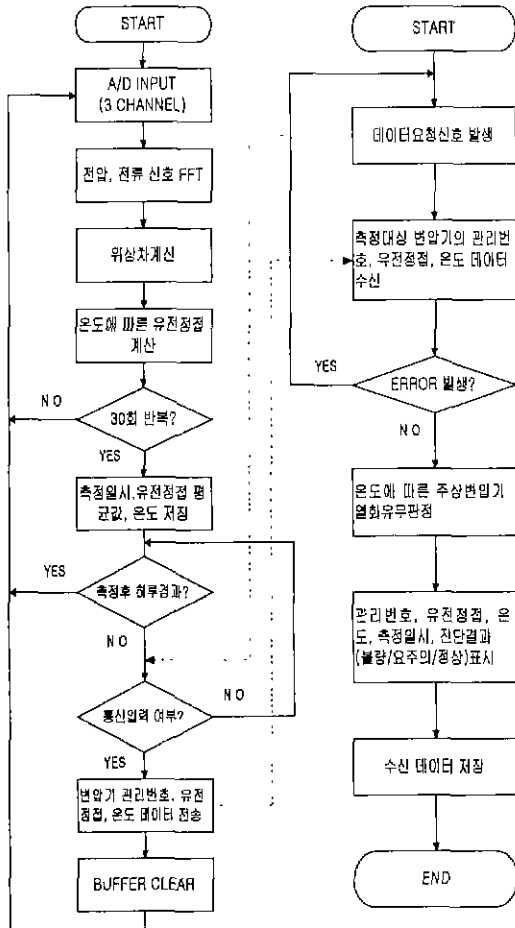
제안한 주상 변압기 열화 진단 장치의 유전정점과 시험 전압의 상관 관계를 알아보기 위해 표 3의 시료 #1~#6을 이용하여 시험 전압 가변 실험을 실시하였다. 표 3의 시료는 간이 수리 및 중 수리용 주상 변압기의 절연유를 채취하여 사용한 것으로 유전정점은 정밀급 유전정점 측정 장치인 Schering 브리지로 측정된 값이다.

유전정점을 측정하기 위해 설치한 커패시터 센서에 인가하는 시험 전압은 주상 변압기 2차측의 출력 전압을 고려하여 220[V], 380[V], 440[V]로 설정하였으며, 측정 결과를 30회 평균하여 나타내었다. 측정시의 유중 온도는 일반적으로 유전정점 측정시 설정하는 50[°C]로 하였다.

그림 13은 시험 전압 가변 실험의 결과를 나타낸 것이다. 세로축은 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치를 이용한 측정값이고, 가로축은 정밀급 측정 장치를 이용하여 측정한 시료의 유전정점을 서로 비교하여 시험 전압별로 나타내었다. 측정 결과를 통하여 주상 변압기 2차측 전압을 이용하여 절연유의 유전정점 측정이 가능하다는 사실을 알 수 있으며,

FFT를 이용한 주상 변압기의 열화 진단 장치에 관한 연구

220[V] 이상의 시험 전압을 인가할 경우 보다 정확한 측정 결과를 나타내고 있다.



측정프로그램 진단프로그램
 그림 12. 측정 프로그램과 진단 프로그램의 흐름도
 Fig. 12. Flow charts of measuring and diagnosis program

그림 14는 앞서 30회 측정된 시험 전압 가변 실험 결과의 분산값을 나타낸 것으로, 시험 전압이 증가할수록 분산값이 작아지므로 보다 정확한 측정이 가능함을 알 수 있다. 주상 변압기의 열화 상태를 진단하기 위해 주상 변압기 2차측 전압을 사용할 경우 시험 전압으로 220[V]~440[V]까지 사용가능하나, 현재 설치되어 운영 중인 주상 변압기의 2차측 전압이 대부분 22,900/380[V]이므로, 본 논문에서는 380[V]를 시

험 전압으로 유중 온도 가변 실험을 실시하였다.

표 3. 실험에 사용한 절연유 사양
 Table 3. Specification of oil samples

시료 번호	용량 [kVA]	제조 일자	입고 내용	유전 정접	실험 내용
#1	100	1991. 4	누유	0.5	시험 전압 가변 실험
#2	50	1991. 4	과부하	1	
#3	100	1983. 2	노후	2	
#4	75	1982. 6	노후	3	
#5	75	1984. 11	노후	5	
#6	20	1983. 12	노후	10	유중 온도 가변 실험
#7	75	1985. 7	철거	16	
#8	30	1987. 2	노후	6	
#9	50	1987. 9	철거	4	
#10	75	1984. 3	노후	2	

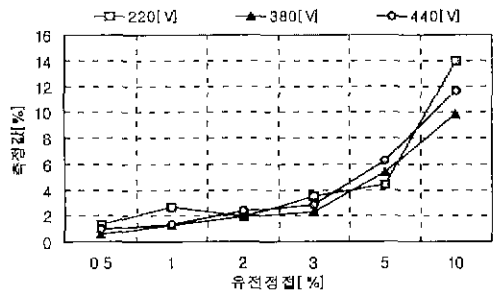


그림 13. 시험 전압 가변 실험 결과
 Fig. 13. Result of voltage variation test

5.2 유중 온도 가변 실험

앞서 실시한 시험 전압 가변 실험 실시 후, 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치를 전압 보정식을 적용하여 380[V]의 시험 전압으로 유중 온도 가변 실험을 실시하였다. 주상 변압기 절연유의 온도 상승치, 절연유 열화시 유전정접의 변화 범위, 주위 온도의 변화를 고려하여 유전정접 실험 범위를 결정하였으며, 온도를 상승시키면서 유전정접의 변화를 측정하였다. 유전정접 측정 전압은 주상 변압기 2차측 전압을 사용한 380[V], 60[Hz]로 하였다. 절연유의 온도 제어는 항온 항습조를 사용하였으며, 온도 가변 범위는 운영 중인 주상 변압기의 온도를 고려하여 40~80[°C]로 하였다.

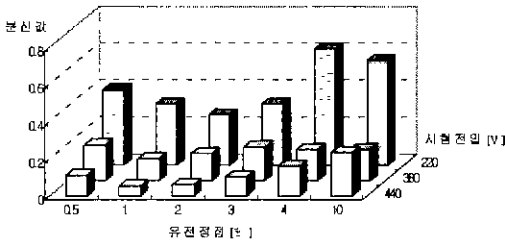


그림 14. 시험 전압 가변 실험 결과의 분산값
Fig. 14. Variance of voltage variation test

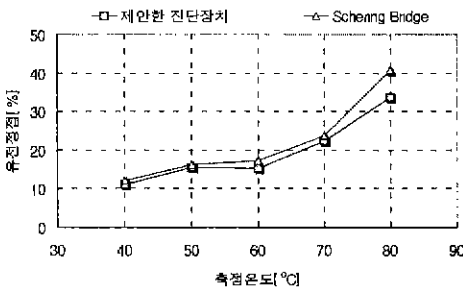


그림 15. 시료 #7의 유중 온도 가변 실험 결과
Fig. 15. Result of measuring temperature variation test for sample #7

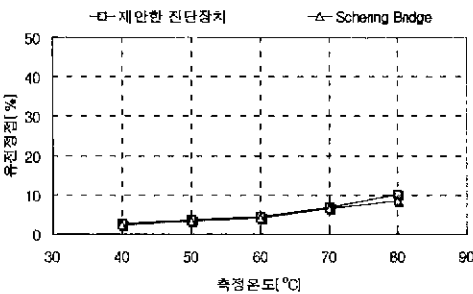


그림 16. 시료 #9 유전정점 실험 결과
Fig. 16. Result of temperature variation test for sample #9

그림 15는 시료 #7의 유중 온도 가변 실험의 결과로서 50[°C]에서의 유전정점이 16[%]로 매우 불량한 상태의 절연유이다. 시험 결과 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치를 이용한 40~70[°C]까지의 유전정점 측정 결과와 정밀급 측정 장치로 측정한 유전정점이 상당히 흡사하나, 80[°C]에서의 측정 결과는 약간의 오차를 보이고 있다. 이때 발생한 오차는 실험에 사용한 시료가 상당히 불량한 시료이기 때문에 정상 및 요구

의 상태에서 정확한 측정 결과를 나타내도록 조정된 본 논문의 측정 결과와 오차를 갖는 것이다.

그림 16은 시료 #9의 유중 온도 가변 실험의 결과로서 50[°C]에서의 유전정점이 4[%]로 요구의 상태의 절연유이다. 시험 결과 40~70[°C]까지의 측정 결과는 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치를 이용한 측정 결과와 정밀급 측정 장치로 측정한 유전정점의 오차가 거의 없었으나 80[°C]에서의 측정 결과는 약간의 오차를 보이고 있다.

유중 온도 가변 실험 결과로 볼 때 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치를 이용한 변압기 절연유의 열화 경향 분석이 상당히 정확하다는 것을 알 수 있다.

5.3 열화 판정 기준 적용 결과

본 논문에서는 앞서 설정한 절연유 온도에 따른 유전정점 열화 판정 기준을 사용하여 실험 결과를 판정 곡선 위에 온도별로 나타내었다. 그림 17은 그 결과로서 그림의 가로축은 유중 온도를, 세로축은 유전정점을 백분율로 표시하였다.

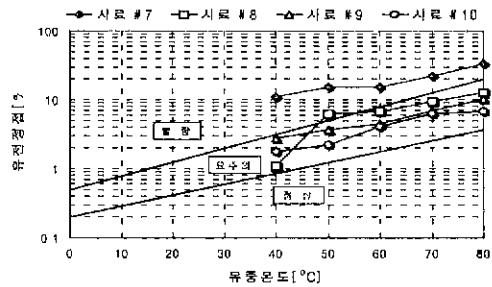


그림 17. 실험에 사용한 절연유의 열화 진단 결과
Fig. 17. Deterioration diagnosis result of insulating oil samples used for temperature variation test

결과에서 볼 수 있듯이 50[°C]에 측정한 유전정점의 판정 결과는 다른 온도에서 측정한 유전정점의 판정 결과와 같았다. 시료 #7은 거의 대부분 모든 온도 영역에서 불량으로 판정되었으며, 50[°C]에서 요구의로 판정된 시료 #9, 시료 #10은 모든 온도 영역에서 요구의로 판정되었다. 단, 시료 #8의 경우는 50[°C]에서는 불량으로 나타났으나, 다른 온도 영역에서는 요구의로 나타났다. 이러한 현상은 제안한 측정 장치의 오차와 측정에 사용한 시료가 열화 판정 곡선 경계에

가까운 유전정점을 갖고 있기 때문이다. 결국, 이러한 열화 판정 곡선을 진단 프로그램에 사용하게 되면 측정시 손쉽게 정상, 요주의, 불량을 판정할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 주상 변압기의 온도 및 유전정점을 측정함으로써 열화 상태를 판정할 수 있고, 손쉽게 진단 결과를 살펴볼 수 있는 주상 변압기 열화 진단 장치를 제안하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) FFT 기법을 이용하여 절연유의 유전정점을 측정하였다.
- (2) 주상 변압기에 사용된 절연유의 열화 진단을 위해 유전정점과 시험 전압, 온도와외 상관 관계를 연구하였다.
- (3) 제한한 주상 변압기 열화 진단 장치의 유용성을 검증하기 위하여 시험 전압 가변 실험, 유중 온도 가변 실험을 실시하여 만족할 만한 결과를 얻었다.
- (4) 주상 변압기로부터 변압기 상태에 관련된 정보를 무선 데이터 통신을 이용해 손쉽게 진단할 수 있는 통신 프로그램을 개발하였다.

추후로 본 논문에서 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치에 관한 실용화 연구가 필요하며, 실제 운영중인 주상 변압기에 설치하여 열화 경향을 일정한 주기마다 측정하여 데이터 베이스화할 경우, 주상 변압기의 열화 상태 경향 분석이 가능하고, 상태 기준법에 의한 유지 보수로 주상 변압기 사고로 인한 인적, 물적 피해를 줄일 수 있으리라 생각된다.

본 논문은 정보통신부의 정부지원금으로 수행한 "정보통신 우수시범학교 지원사업"의 연구 결과입니다.

참고 문헌

- (1) 이보호, DSP를 이용한 주상 변압기 $\tan\delta$ 측정기법 연구, 기초전력공학공동연구소(연구 보고서), 1996. 9.
- (2) 이보호, 주상변압기 열화 진단 장치 개발 연구, 기초전력공학공동연구소(연구 보고서), 1998. 9.
- (3) KSC 2101-1987, 전기 절연유 시험 방법, 한국공업표준협회, 1987.

- (4) 김인석, 유전정점 측정에 의한 주상 변압기 활성 진단에 관한 연구, 숭실대학교 석사학위논문, 1996. 12
- (5) 이수길, DSP를 이용한 $\tan\delta$ 측정 장치 개발에 관한 연구, 숭실대학교 석사학위논문, 1996. 12.
- (6) 김재철 외, "The measuring Technique of $\tan\delta$ using DSP," ICEE '96, No.1, pp. 403-40, 1996. 8.
- (7) 김재철 외, "DSP를 이용한 주상 변압기 유전정점 측정 기법 연구," 한국조명·전기설비학회 논문지, 제11권, 2호, 1997. 4.
- (8) 김영춘 외, "주상 변압기 열화 진단 장치 개발에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1079-1081, 1998. 7.
- (9) 이재욱, 디지털 신호 처리, 청문각, 1994.
- (10) 황병원, 디지털 신호 처리, 오음사, 1994.
- (11) MATLAB User's Guide, MATHWORK INC, pp. 36-39, 1993
- (12) ASTM D 150-87, Standard Test Methods for A-C Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulating Materials
- (13) 고대식, 전자 응용 회로집, 도서산업사, 1991.
- (14) 처영배, Micro controller 80196, 다다미디어, 1998.
- (15) 편집자, 와이어리스 데이터 전송 기법, 전자 기술, Vol 10, No.6, pp. 15-50, 1997. 6.

◆ 저자소개 ◆

윤 용 한 (尹龍漢)

1967년 10월 1일 생. 1990년 2월 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1992년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학 박사). 1995년 3월~2000년 3월 숭실대학교 생산기술연구소 연구원. 2000년 3월~현재 (주)테크빌 개발부 차장.

김 영 춘 (金榮春)

1971년 7월 15일 생. 1997년 2월 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 3월~현재 한국건설기술연구원 토목연구부 첨단도로시스템연구그룹 연구원.

김 재 철 (金載哲)

1955년 7월 12일 생. 1979년 2월 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 8월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학 박사). 1988년 3월~현재 숭실대학교 전기공학과 교수.