

배전용 변압기의 진단을 위한 위상 검출 장치의 개발

°김영춘\* · 최도혁\* · 윤용한\*\* · 민경래\*\* · 김재철\*\*\*  
 \*한국건설기술연구원 · \*\*(주)테크빌 · \*\*\*송실대학교 전기공학과

Development of Phase Sensitive Detector for Diagnosis of Distribution Transformers

°Young-Chun Kim\* · Do-Hyuk Choi\* · Yong-Han Yoon\*\* · Kyeong-Rae Min\*\* · Jae-Chul Kim\*\*\*  
 \*KICT · \*\*Techvill Co., Ltd. · \*\*\*Dept. of Electrical Eng. Soongsil University

**Abstract** - This paper develops phase sensitive detector for diagnosis of distribution transformers. And to detect the  $\tan\delta$  more effectively, this paper used phase sensitive detector. The sensor in oil which could be placed inside of the distribution transformer can measure the  $\tan\delta$  in oil. This could be the important factor and information, and it could be used for the basic information for a precise diagnosis. Establishment of the proposed system helps to build the confidence in monitoring of the oil-filled transformers.

1. 서론

전력 설비에 있어서 배전용 변압기(주상/지상 변압기)는 전력 계통의 중요한 구성 요소로써 전력의 안정 공급을 위한 역할이 매우 크다. 특히, 전력 계통의 말단에 위치한 배전용 변압기는 부하량이 불규칙적으로 변하고, 때로는 과부하가 자주 나타난다. 이러한 요인들은 배전용 변압기의 과열 현상 등을 일으키고 열화를 촉진하여 결과적으로 절연 파괴에 따른 정전 사고를 유발하여 수용가에 직접적인 피해를 준다. 또한, 배전용 변압기는 주거 지역에 설치되어 있는 관계로 과열에 의한 폭발사 인적·물적 자원에 대한 피해마저 우려된다. 따라서, 배전 계통의 고 신뢰도 운전을 위해서는 배전용 변압기의 상시 감시 및 고장 진단 기술이 요구되고 있다[1-3]. 그러나 배전용 변압기의 감시 및 진단 장치는 배전용 변압기의 가격에 비해 상당히 고가이며 특히, 정밀 유전정점 측정 장치의 경우에는 오프라인 방식이기 때문이다.

본 논문에서는 열화 측정 센서에 개발한 열화 측정 장치의 위상 검출 제어에 따라 절연유의 유전정점을 측정한다. 여기에서 측정한 값은 열화 상태와 내부로 유입되는 수분에 의한 단락 및 슬러지 상태를 평가하는데 사용된다. 즉, 본 논문에서는 유전정점의 위상 검출 원리와 이를 이용한 회로 설계 및 장치 개발에 관련된 내용을 기술한다.

2. 유전정점 측정을 위한 위상 검출 장치

본 논문에서 개발한 위상 검출 측정 장치는 센서에 인가된 전압에 대한 출력 신호인 전류 신호를 이용하였다. 미소 신호인 전류 신호는 전류-전압 변환기에 의해 전압 신호로 변환하였으며, 잡음의 제거를 위하여 대역 통과 필터를 사용하였다. 전압 신호와 전류 신호의 정확한 위상 측정을 위하여 비교기에 의한 펄스 신호를 발생하였다. 즉, 전압 신호와 전류 신호의 위상 차이를 비교기 출력인 펄스 신호의 진폭으로 출력한다. 펄스 폭에 의해 위상차를 계산하는 것이다. 위상 검출 측정 장치의 디지털 제어부는 펄스 신호의 진폭 계산을 위하여 응답 속도가 빠른 AVR계열의 프로세서인 ATMEL사의 atmega 103 원칩 프로세서의 내부 타이머를 이용하였다[4-5].

2.1 위상 검출 장치의 회로

본 논문에서의 열화 측정 장치는 유전정점을 측정하기 위해 위상 검출 방식을 사용하였다. 그림 1은 열화 측정 장치의 블록도이다. 열화 측정 장치를 이용한 이상적인 경우(위상차 90°)의 위상 검출 파형은 그림 2와 같다.

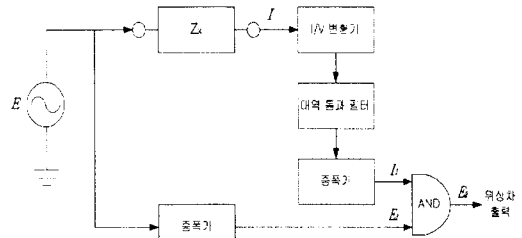


그림 1. 열화 측정 장치의 블록도

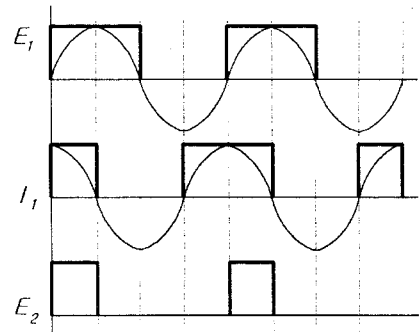


그림 2. 열화 측정 장치를 이용한 위상 검출 파형

미지의 임피던스  $Z_x$ 에 교류 전압  $E$ 를 인가하고, 이때 흐르는 전류  $I$ 를 측정한다. 이때,  $E_1$ 은 인가 전압과 출력 전류의 위상차를 구하기 위해 정규화된 증폭 전압으로  $E$ 와 동상이다. 측정된  $I$ 를 전류-전압 변환기 및 증폭기를 이용하여  $I_1$ 으로 변환시킨다. 이  $I_1$ 과  $E_1$ 이 겹치는 시간을 나타내는 출력 신호  $E_2$ 에 의해 전압 신호  $E_1$ 과 전류 신호  $I_1$ 의 위상 차이를 측정할 수 있다. 즉, 반주기 시간에 대한 출력 전압  $E_2$ 는  $E_1$ 과 출력 전류  $I_1$ 의 위상 차이를 나타내는 정보가 된다.

본 논문에서 제안한 배전용 변압기의 상시 감시 및 진단 장치를 검증하기 위하여 배전용 변압기의 경년 절연율을 추출하여 유전정점을 측정하였다. 유전정점 측정에서는 HP사의 임피던스 분석기, 열화 측정 센서를 사용한 열화 측정 장치 및 정밀 유전정점 측정 장치를 비교, 실험하였다. 임피던스 분석기는 HP사의 4294A를, 정밀 유전정점 측정 장치는 Tetex사의 Type 2821의 Schering 브리지를 사용하였다.

열화 측정을 위한 유전정점 측정 실험은 정밀 유전정점 측정 장치의 고전압 1000[V], 50[Hz]를 사용하나 개발된 유전정점 측정 장치에서는 주파수를 높이고 사용 전압을 낮추기 위하여 60[Hz], 500[Hz], 1000[Hz]에 대한 실험을 통하여 500[Hz]가 가장 적정하다는 결론을 얻었다. 즉, 제안된 열화 측정 장치는 500[Hz], 10[V]를 이용하여 측정하고, 보정 함수를 통하여 유전정점을 계산하는 방식이다.

## 2.2 개발된 유전정점 측정 장치의 실험

배전용 변압기의 열화 측정을 위한 절연유의 유전정점 측정 실험에서는 임피던스 분석기와 정밀 유전정점 측정 장치간의 비교 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 장치의 사용 주파수를 결정하였다. 또한, 제안된 열화 측정 장치와 정밀 유전정점 측정 장치간의 비교 실험을 통하여 제안된 열화 측정 장치를 검증하였다. 실험에 사용된 절연유는 표 1, 표 2와 같다. 실험에 사용된 시료는 현장성을 고려하여 철거된 배전용 변압기에서 추출하였으며, 주로 노후된 변압기를 대상으로 선택하였다.

절연유의 유전정점 측정은 Tetex사 Type 2821 제품의 Schering 브리지 방식의 정밀 유전정점 측정 장치를 사용하여 실험하였다. 측정 환경은 JEM-TR 171 규격인 1000[V]에 50[°C]를 기준으로 측정하였다. 주파수 선정 실험에 이용한 열화 측정 장치는 센서에 임피던스 분석기를 결합하여 주파수를 가변 시키면서 실험하였으며, 그림 3, 그림 4, 그림 5는 각각 60[Hz], 500[Hz], 100[Hz]로 실험하여 정밀급 측정 장치와의 상관 관계를 나타내었다. 상관 정도를 통계 분석 기법 중 최소 자승법 알고리즘에 기초한 결과 계수인  $R^2$ 의 값[6]으로 분석하였다.  $R^2$ 은 편행 계수 또는 적합도라고 하며, 0에서 1사이의 값으로 표현된다. 즉,  $R^2$ 은 추세선에 대한 추정값이 실제 자료에 얼마나 근사한 지를 나타내고 있으며, 1.0에 가까운 값일수록 신뢰할 수 있다고 한다.

주파수 선정을 위하여 그림에서 사용한 열화 측정 장치는 열화 측정 센서에 임피던스 분석기를 결합했음을 의미한다.

표 1. 실험에 사용된 절연유의 변압기 용량별 시료

변압기 용량[kVA]	시료 수
10	1
20	3
30	5
75	6
100	5

표 2. 실험에 사용된 절연유의 변압기 사용 이력별 시료

변압기 사용 이력	시료 수
소손	2
불량	2
과부하	2
노후	8
누유	2
철거	2
돌발	2

본 논문에서는 제안한 열화 측정 장치의 검증을 위하여 우선 정밀 유전정점 측정 장치에서 측정한 유전정점 [%] 값과 HP사의 임피던스 분석기에 의해 측정된 값과 비교하였다. 임피던스 분석기의 측정 신호는 1[V]에 최대 주파수는 1[MHz](0 - 1[MHz])이다.  $R^2$ 에 의한 통계 분석으로 살펴보면, 전체적으로 선형성이 있는 것으로 판단되고, 500[Hz]에서의 결과가 오차가 적음을 알 수 있다. 실험 결과를 토대로, 본 논문에서 개발한

열화 측정 장치는 주파수를 500[Hz]로 설정하였다.

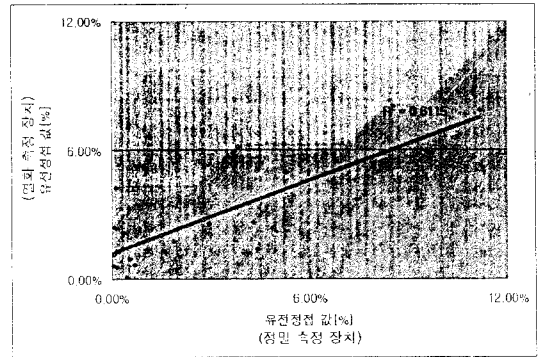


그림 3. 60[Hz]에서의 열화측정 장치와 정밀 측정 장치의 비교

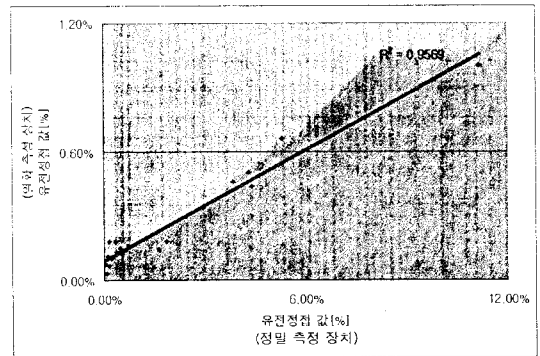


그림 4. 500[Hz]에서의 열화측정 장치와 정밀 측정 장치의 비교

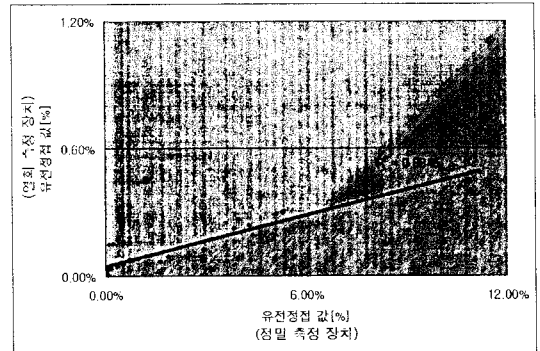


그림 5. 1[kHz]에서의 열화측정 장치와 정밀 측정 장치의 비교

따라서, 본 논문에서 개발한 열화 측정 장치는 측정 오차가 가장 작고, 선형성을 갖고 있는 500[Hz]의 측정 주파수를 사용하였으며, 보정 함수를 통하여 유전정점을 측정하였다.

제안한 열화 측정 장치(절연 열화 측정 센서와 개발된 열화 측정 장치)는 주파수를 500[Hz], 10[V]의 시험 전압을 사용하여 유전정점을 구하고 보정 함수를 고려하여 그림 6에 정밀 측정 장치와의 비교값을 보여주고 있다. 오차는 조금 있지만 수용할 만한 것으로 간주된다. 이때, 사용한 시료는 표 3에 나타내었다. 표 4에서는 제안한 열화 측정 장치와 정밀 측정 장치의 유전정점 [%]을 비교하였다.

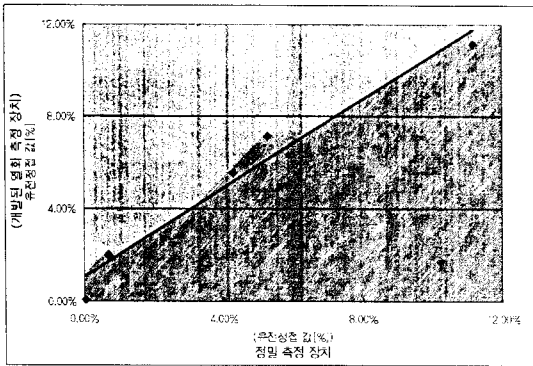


그림 6. 제안된 열화 측정 장치와 정밀 측정 장치의 비교

표 3. 열화 측정에 이용된 시료

시료 번호	변압기 용량(KVA)	변압기 사용 이력
1	75	노후
2	75	노후
3	100	불량, 철거
4	100	노후
5	75	노후

표 4. 제안된 열화 측정 장치와 정밀 측정 장치의 비교

	개발된 열화 측정 장치	정밀 측정 장치
유전정점 값 [%]	0.01	0.05
	1.98	0.71
	5.54	4.30
	7.12	5.29
	11.11	11.10

### 3. 결론

본 논문에서는 일반적으로 절연유를 판정하는데 가장 많이 이용하는 유전정점을 검출하기 위해 하드웨어·소프트웨어적으로 매우 간단한 간이 측정 방식인 위상 검출 방식을 제안하였다. 본 논문에서 개발한 위상 검출 측정 장치는 센서에 인가된 전압에 대한 출력 신호인 전류 신호를 이용하였다. 미소 신호인 전류 신호는 전류-전압 변환기에 의해 전압 신호로 변환하였으며, 잡음의 제거를 위하여 대역 통과 필터를 사용하였다. 전압 신호와 전류 신호의 정확한 위상 측정을 위하여 비교기에 의한 펄스 신호를 발생하였다. 즉, 전압 신호와 전류 신호의 위상 차이를 비교기 출력인 펄스 신호의 진폭으로 출력한다. 펄스 폭에 의해 위상차를 계산한다. 위상 검출 측정 장치의 디지털 제어부는 펄스 신호의 진폭 계산을 위하여 응답 속도가 빠른 AVR 계열의 프로세서인 ATMEL사의 atmega 103 원칩 프로세서의 내부 타이머를 이용하였다.

본 연구에서 개발한 감시 및 진단 장치의 효용성을 입증하기 위해서 기존 측정 장치의 분석 결과와 비교하였고, 그 상관 관계를 연구한 결과 상대적인 선형 관계가 있음을 확인하여 타당성이 있는 장치임을 검증하였다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Y. H. Yoon et. al., "Development of A Deterioration Diagnosis Device for Pole Transformer Using signal Processing and wireless communication," *IEEE Power Engineering Society 2000 Summer Meeting at Seattle, Washington, USA.*, Submitted, July 16-20 2000
- [2] 電氣學會, 電氣設備의 診斷技術, 오ム社, pp. 84-89, 1988.
- [3] 月岡 淑郎, "油入變壓器의 外部 診斷技術," 오ム誌, 四月號, pp. 40-44, April 1987.
- [4] 고대식, 전자응용회로집, 도서산업사, pp. 174-210, 1991.
- [5] 정혜선, 노이즈 방지와 대책, 성안당, pp. 57-64, 1991.
- [6] 김우철 외, 개정 현대통계학, 영지문화사, pp. 149-177, 1983.