

현장실무자를 위한 설비진단 테크닉(8)

전기는 응용하는 기술의 발달에는 실로 눈부신 바가 있다.

전기를 깨끗하고 안전한 에너지원으로써

또, 컴퓨터나 통신에 이용되는 정보전송의 매체로서

널리 사용되어 최근에는 광이나 초음파의 분야도 포함하여

얼줄 모르는 진보를 계속하고 있다.

우리들은 그 전부를 볼수는 없으나, 미래기술이라는 거대한 양상에 대하여

비록 기술의 단편이라도 많이 모아 쌓이면 많은 참고가 될 것이다.

본고에서는 이를 위해 전 13장을 번역 게재할 예정이다.

글 실는 순서

- | | | | |
|-----|-------------------|-------|-----------------------|
| 제1장 | 예지보존에의 기초기술 | 제 7 장 | 케이블 열화의 간이측정 |
| | • 이상예지를 위한 데이터 처리 | 제 8 장 | 롤러 베어링의 진단 테크닉 |
| | • 열화 프로세스에서의 이상예지 | 제 9 장 | 전력전자 기기의 수명예측 |
| 제2장 | 운전감시로 되는 상태의 추정 | 제10장 | 콘덴서 개폐와 보수유지 |
| | • 운전상태를 아는 테크닉 | 제11장 | 큐비클의 방식기술 |
| | • 이상 발생후의 상태진단 | 제12장 | 보전용 계기와 사용법 |
| 제3장 | 기기에 의한 외부진단 테크닉 | 제13장 | 센서에 사용되는 여러가지 성질과 활용법 |
| 제4장 | 가스절연기기의 내부진단 | | |
| 제5장 | 리모트 센싱에 대한 설비진단 | | |
| 제6장 | 변압기의 예지 보전 | | |

제6장 변압기의 예방보전

역/대한전기기사협회

서 론

변압기를 비롯한 변전기기는 밀폐형의 용기에 수용되어 있기 때문에 원래 높은 신뢰성을 가지고 있다. 그러나 전력계통에서 높은 신뢰성을 유지하기 위해서는 중심적인 설비로 된 변압기를 비롯한 변전기기의 정기적인 보수, 점검의 실시와 관리 기술의 충실 및 고도화가 중요한 과제이다. 최근에 보수와 관리하는 방법은 종래의 사후 대책형에서 기기의 내부상태 감시형으로 이행하고 있으며 예방 보전의 고도화와 자동화가 강력히 요망되고 있다.

변압기의 중요한 메인テナンス(Maintenance)의 하나로서 전부터 절연유 안의 가스분석 기술이 널리 채용되어 왔으나 최근에는 이에 첨가하여 현장에서 사용할 수 있는 간이 가스분석 장치의 개발이나 부분방전 감시장치의 개발 또는 변압기 내부의 소리나 진동 또는 빛 등을 전기 신호로 변환하여 계측하는 방법이 개발되고 있으며 이 중 몇가지는 실용화 단계에 와 있다.

여기서는 최근에 컴퓨터 기술을 활용한 진단 기술과 자동화되고 있는 예방보전 장치의 동향에 대해서 그 개요를 설명한다.

1. 변압기내부 이상검출방법과 이상의 종류

감시해야 할 변압기의 내부 이상으로는 크게 나누어서

- (i) 부분방전 발생 등의 절연 이상
- (ii) 국부 가열 등의 열 이상
- (iii) 철심과 권선 등의 이상 변형

등을 들 수 있다. 이 중에서 (iii)은 주로 외부 단락 사고일 때에 전자기계력에 의한 것이며 사후 검사가 주체로 되는데 (i)과 (ii)는 연속감시나 점점 검사 등에 의하여 검사된다. 이러한 이상은 <표 1>에 나타난 방법으로 검출되는데 이 방법 이외에는 부분방전이나 국부가열에 의한 절연유 안의 먼지량에 대한 변화를 검출하는 방법 또는 기기의 과부하 관리용으로 광파이버를 이용하여 적외선 검출에 의한 국부 온도 계측이나 초음파센서를 이용한 변압기 절연유의 누설검사 등도 있다.

다음은 최근에 대표적인 검출 기술과 장치 등에 대하여 간단하게 설명한다.

<표 1> 유입변압기의 내부이상검출방법

구 분	검 출 원 리	검출되는 이상의 내용
가스검출	특정가스성분의 발생유무검출, 가스마토그래피에 의한 화학분석, 가스감응형 반도체소자에 의한 검출	국부가열에 의한 절연유, 절연지, 프레스보드 등의 열 분해에 의한 가스의 발생, 부분방전, 아크방전에 의한 절연유의 분해가스 발생
전기적방법	부분방전에 따른 전류펄스를 부분방전측정기로 검출	도체의 접촉불량, 고압도체지지절연체의 절연불량, 항선절연의 절연불량 등에 의한 부분방전의 발생
음향적방법	진동이나 소리, 초음파 등을 압전소자로 검출	부분방전의 발생에 따른 초음파의 발생, 단격에 의한 향선변형, 철내변형에 의한 자기변형진동의 증가, 이상공진음의 발생

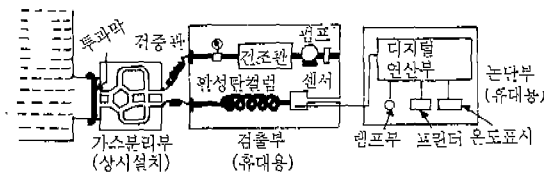
기계적방법	압력의 변화율 스트레인 게이지로 검출	국부적인 단결에 의한 변압기내부압력의 급격한 증가, 아크방전의 지속에 의한 입력의 급격한 증가
광학적방법	빛, 적외선, 자외선을 수광소자로 검출	국부가열에 의한 적외선의 발생, 부분방전에 의한 발광, 아크방전에 의한 발광

2. 최근의 이상검출방법과 그 특징

(1) 절연유내의 가스분석

변압기 내부에서 국부적인 가열이나 방전 등에 의하여 절연유 또는 절연지나 그외의 절연물이 열분해할 때에 생긴 분해가스는 절연유 속에서 용해한다. 절연유 안의 가스분석은 변압기에 있는 절연유안의 용해가스를 추출하고 분석하는 방법으로 널리 그 유용성이 인정되고 있는 것이며 최근에는 현장에서 측정할 수 있는 상당히 간편한 분석 장치가 개발되었다.

<그림 1>과 같은 가스분석 장치는 현장에서 해석할 수 있도록 휴대용으로 한 예이며 절연유 안의 가스 채집은 도유관 끝면에 설치된 특수한 가스 투과막을 거쳐서 가스실에 가스를 모이게 하고 이 가스를 배관을 통하여 센서부에 도입하며 가스센서에서 가스 농도에 대응한 출력 신호를 인출하도록 구성되어 있다. 신호는 센서에 의하여 특정한 성분으로 된 가스밖에 감응하지 않으나 일반적으로 1~3성분의 가스를 검출할 수 있도록 되어 있다.

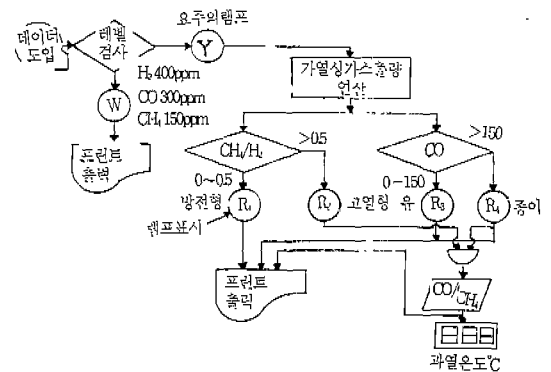


<그림 1> 장치의 개요도

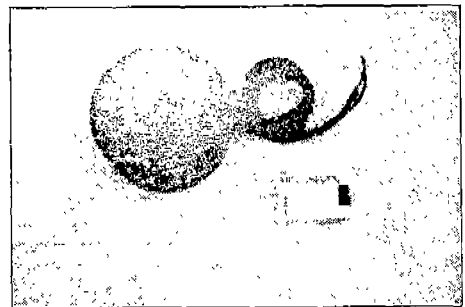
검출된 신호는 <그림 2>와 같이 계산 판단부를 구성하는 마이크로컴퓨터에 입력되고 미리 내장된 해석 프로그램에 의하여 각 가스의 농도와 성분 조성비 및 국부가열의 추정온도 등에 대한 해석을 실

시하게 된다. 결과는 프린터로 출력되거나 결과가 이상 레벨을 초과하고 있는 경우에는 경보를 발신하도록 구성되어 있다.

이 장치는 취급하는데 종래의 장치에서 볼 수 있었던 전문적인 지식과 조작 기술이 없어도 취급할 수 있도록 많은 부분이 자동화되어 있다.



<그림 2> 데이터 처리의 흐름



<그림 3> PCT 외관

(2) 전류펄스 검출방법

변압기 내부에서 부분방전이 발생하면 회로에는 펄스(Pulse)성의 방전 전류가 환류한다. 이러한 방전

전류의 유무를 검출하는 소위 부분방전시험은 기기의 절연 신뢰성을 판정하기 위하여 특히 중요한 시험이며 변압기를 공장에서 시험할 때에는 성의 있게 실시해야 한다.

현장에서 전류 펄스를 검출하는 방법으로는

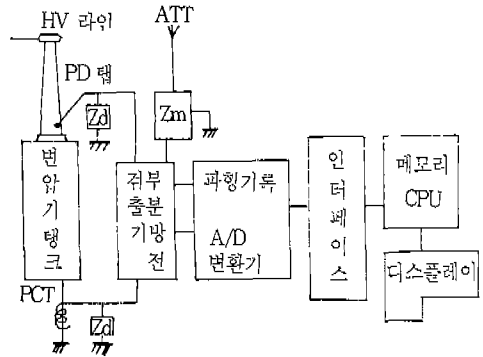
(i) 권선 중성점측의 통전선에 상용주파 전류가 중복되어서 흐르는 방전전류를 로고스키 코일 타입의 고주파 펄스 CT로 검출하는 펄스 CT법

(ii) 고압 부싱(Bushing)에 분류하는 방전 전류를 검출하는 부싱탭(Bushing Tap)법

(iii) 방전에 따라 발생하는 전자파를 검출하는 안테나법 등이 주체가 된다. 측정용 센서의 대부분은 LRC의 공진형 회로(Resonance Circuit)가 주체인데 (i)의 접지선에서 직접 검출하는 펄스CT는 <그림 3>과 같은 페라이트 코어(Ferrite Core)를 사용한 갭(Gap)이 부착된 로고스키 코일이 된다.

현장에서 부분방전을 검출하는 문제점은 어떻게 하여 외부 잡음을 제거 또는 저감시켜서 내부 부분방전의 검출 감도를 올리는가 라는 점에 있다. 노이즈 저감 대책으로는 밸런스(Balance)법에 의한 아날로그적인 저감 제거방법과 검출 펄스의 파동준검도 크기, 극성 파형형상 등에서 논리적으로 변별하여 제거하는 방법이 있으나 이 중에서 앞에 말한 방법보다도 뒤에 말한 것이 장치의 취급이 대단히 간편하며 현장에서 예방 보전하는 측정 기술에 적합한 방법이라고 생각한다. 그러나 이러한 기계적인 처리에 의존한 종래의 노이즈 제거 대책만으로는 현장에서 부분방전을 측정하는 데는 불충분하며 <그림 4>와 같은 시스템으로 컴퓨터 해석에 의한 노이즈 변별을 시작하여 검토하고 있다. 전류 펄스의 검출은 부싱탭 검출과 펄스CT검출 및 안테나검출 등 3가지 방법 중에서 임의로 2가지 방법을 조합할 수 있도록 구성되어 있으며 이 조합부에서 하드처리에 의하여 노이즈를 차단함과 동시에 검출된 유효 펄스는 모두 A/D 변환(Analog/Digital Converter)되어서 CPU(중앙처리 장치)에 기억된다. CPU에서는 다시 개개의 검출 신호에 따라 각각의 정보를 검출 방법의 고유한

프로그램 처리에 의하여 비교 검토하고 노이즈인가 아닌가를 판정하는 것이며 종래의 일반적인 부분방전을 측정하는 온라인적인 측정과는 취지를 달리하고 일종의 오프 라인(Off Line)적인 신호처리 방법이다. 이 방법의 특색은 신호를 2계통에서 계측하고 우선 논리형의 노이즈 변별 회로를 부분방전 측정기에 의하여 하드면에서 노이즈를 제거함과 동시에 소프트웨어에서 다시 노이즈를 차단하려는 방법이며 앞으로 부분방전 계측에서 하나의 흐름이 되리라고 확신한다.

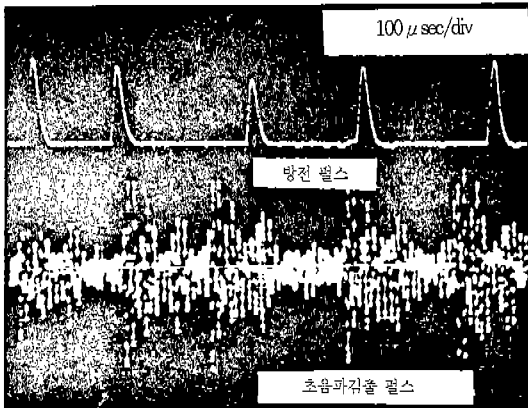


<그림 4> 부분방전검출 시스템

(3) 초음파 검출방법

변압기 내부에서 절연유 속의 부분방전이 발생하면 이에 따라 초음파가 발생한다. 이 초음파를 탱크 외벽에 밀착시켜서 설치한 초음파 검출기(이의 대부분은 공진형의 압전형 소자)에 의하여 초음파의 압력 진동파를 검출해서 전기 신호로 변환하고 이것을 60~100dB정도로 증폭해서 사용하는 것이 일반적인 사용방법이다.

일반적으로 초음파는 수kHz~수MHz 정도까지 분포하고 있으며 초음파를 측정하는 주파에는 특히 제한은 없다. 초음파 펄스를 검출할 때에는 탱크벽 위를 지나다니는 작은 동물에 의한 찰과음(스쳐 지나가는 소리)등과 같은 외부 잡음 처리에 주의하면 특히 문제는 없다. 그러나 신호를 해석할 때에는 초음



<그림 5> 초음펄스의 시간분해능

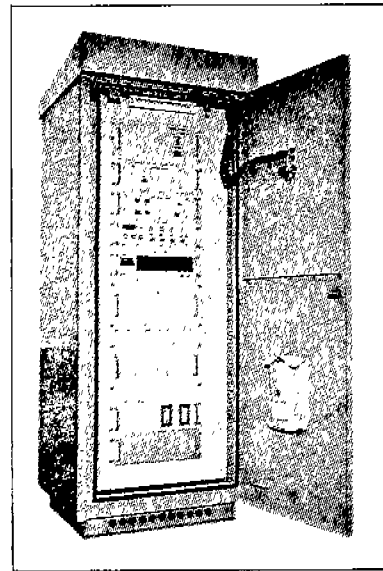
파 펄스의 분해능(Resolving Power)에 주의하지 않으면 안된다. <그림 5>와 같이 가능한 최소 펄스 간격은 구조재에 의한 감쇠나 반사 또는 탱크벽의 철판 등을 전파해서 들어 오는 파(Wave)의 영향 등과 같은 실용적인 면을 고려하면 초음파 펄스의 분해능은 500pps 정도까지 저하한다고 생각하지 않으면 안된다. 그러나 이 초음파법에서는 부분방전 등과 같은 이상의 유무는 판정되지만 내부 구조재의 존재에 따라 초음파는 그 전파경로에 의하여 크게 감쇠되기 때문에 검출 초음파의 크기에서 이상의 크기를 추정하는 것은 대단히 곤란하다.

(4) 부분방전 감시장치

앞에서 말한 전류펄스검출 기술과 초음파 펄스검출 기술은 각각 고유의 노이즈 대책이 필요하며 이 때문에 현장에서 부분방전을 측정하는 데는 대단히 고도의 시험 기술을 필요로 하는 결점이 있었다. 최근에는 이러한 결점을 제거한 부분방전 감시 장치가 개발되고 있다.

이 장치의 특징은 전류펄스와 초음파펄스가 서로 다른 2개의 물리량을 동시에 계측하고 양자의 상관관계를 자동적으로 판별하는 방법에 따라 외부 노이즈에 의한 착오 검출과 착오 판단을 방지하고 있는 점에 있다. 즉, 외부 전기 노이즈는 초음파 센서에는

감응하지 않는다는 것과 작은 동물들이 탱크벽 위에서 내는 찰과음은 전류펄스와 관계가 없는 것과 같이 측정할 때에 유해한 노이즈에 대해 반응이 전혀 다르다는 것과 초음파 펄스보다도 고유의 지연을 갖고 검출되는 것을 이용하여 참(True)의 부분방전 신

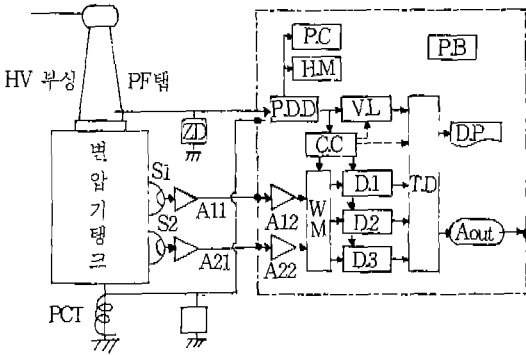


<그림 6> 장치외관

호만을 검출하도록 구성되어 있다. <그림 6>에 운전중인 변압기 내부에서 부분방전의 발생 유무를 상시감시하는 옥외 고정형의 부분방전 감시장치에 대한 외관을 <그림 7>에 이 장치의 시스템에 대한 개요를 나타내고 있다. 장치는

- (i) 전류펄스 검출 소자부, 초음파펄스 검출 소자부
- (ii) 방전 계측부
- (iii) 초음파펄스 판정부
- (iv) 종합 판정부
- (v) 출력 표시부

로 구성되어 있다. 전류펄스는 고압부심의 PD탭이나 중성점측 접지선 또는 기기 접지선에 설치된 검출 소자에 의해 검출되고 초음파펄스는 기기 탱크벽의 외부면에 설치된 초음파 검출기에 의하여 검출된다. 변압기 내부에서 부분방전이 발생하면 전류펄스 검출소자에 의해 부분방전에 따른 전류펄스 신호로서



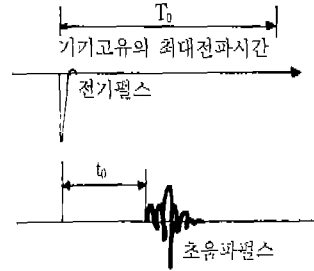
ZD	섬출입퍼던스	W.D	펄스 파형변환회로
S1,S2	초음파검출소자	D.1	노이즈검출회로
A11-A22	증폭기	D.2	내수성검출회로
PC	펄스 카운터	D.3	동시성검출회로
H.M	펄스 파고값 미터	T.D	종합판단회로
P.D.D	부분방전계측기	D.P	기록계
P.C.T	전류펄스검출유닛	A.out	경보출력회로
V.L	파고가규준회로	P.B	전원
C.C	펄스 제어회로		

<그림 7> 부분방전 감시장치시스템 구성도

검출된다. 이 신호는 방전 계측부에서 증폭 파형이 정형되고 펄스제어회로를 거쳐서 판정부를 기동시킨다. 부분방전의 발생에 따른 초음파펄스는 초음파펄스 검출기에 의해 전류펄스로부터 초음파를 전파하는데 요하는 시간만큼 늦게 검출된다.

이와 같이 검출된 초음파 신호는 초음파펄스 판정부에서 <그림 8>과 같이 기기 고유의 최대전파시간 안에 들어 있는가 아닌가(노이즈 검출), 전류펄스 신호에 이어서 발생하고 검출되었는가 아닌가(부수성 검출), 또한 부수성이 있는 초음파 신호가 지정된 CH수 이상 검출되었는가 아닌가(동시성 검출) 등의 판정이 각각의 논리 판단회로에서 논리적으로 판단되고 종합 판단부에서 부수성과 동시성이 없으면 노이즈로 판단되고, 부수성 및 동시성이 있으면 내부의 부분방전으로 판단하여 검출방전 전하량과 발생시각 등을 프린트 아웃(Print Out)한다. 다시 검출방전 전하량이 경보레벨 이상이면 경보신

호를 발신하도록 구성되어 있다.



<그림 8> 전류펄스와 초음파펄스의 관계

(5) 부분방전 위치표정장치

기기 내부에서 부분방전의 발생이 만일 인정된 경우에 부분방전의 발생 위치가 축색에서 추정되면 변압기 운전 계속의 가부나 보수 수리의 여부 등에 대한 판단 또는 필요한 기기보존 대책을 현장에서 세울 수 있다.

부분방전의 위치표정 장치로는 부분방전 감시장치와 동일하게 전류펄스와 초음파펄스의 검출을 병용한 장치가 개발되고 있다. 이것은 여러 개의 초음파 센서를 변압기 탱크의 벽에 밀착 설치하여 개개의 초음파 센서에서 전류펄스로부터 고유의 지연 시간을 검출하므로써 초음파원(방전원)의 위치를 표정하는 것이며 장치는

- (i) 전류펄스 검출부 1CH
- (ii) 초음파펄스 검출부 min 3CH
- (iii) 파형 기록부, 시간차이 계산부
- (iv) 방전위치 계산부
- (v) 출력 표시부

로 구성되어 있다. 절연유 안의 초음파 전파 속도V를

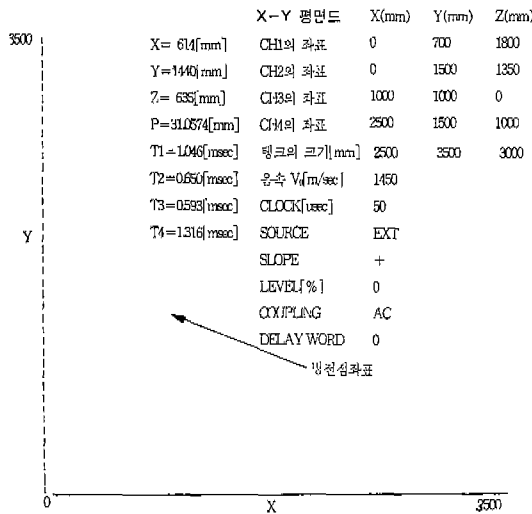
$$V=1500-4.0 \times \theta_0 [m/s]$$

단, θ_0 은 절연유의 온도[°C]

라고 하면 방전 발생점과 초음파 검출소자 사이의 거리L는 초음파 검출 지연시간 T에 변압기 내부 초음파 전파 속도V를 곱해서 구한다.

$$L_i = V \cdot T_i \quad ; i=1,2,3, \dots \dots \dots (1)$$

따라서 부분방전 위치를 공간 좌표로서 구하는 데는 발생점서부터 전파해 오는 초음파를 최소한 3개(4개 이상이 바람직하다)의 검출소자로 측정하든가 아니면 초음파 소자의 탱크벽설치 위치를 바꾸어서 3회 이상 측정하면 되고 수식적으로는 (1)식을 연립시켜서 발생점의 좌표를 풀면 된다. 초음파펄스의 검출에서 측정오차가 없는 경우에 검출소자의 배치 방법 및 탱크 형상 등의 제한 사항을 감안하면 발생점은 한점에 모이게 되나 탱크 안에 있는 구조재의 영향 때문에 계속 오차가 생기므로 그럴듯한 발생점의 좌표를 어떤 범위에서 밖에 추정되지 않는다. 그러므로 측정은 여러번 실시하고 측정 시간 T_i 의 평균화를 처리하여 추정 정밀도를 높이면 좋다. <그림 9>는 위에서 말한 장치에서 프린터로 출력한 예이다.



<그림 9> 위치표정 계산결과 출력예

결론

최근에 변압기의 예방보전 기술에 아직 연구단계에 있는 것을 포함하여 그 개요를 설명하였다. 이러한 장치는 앞으로 반도체 기술이나 각종 센싱기술의 향상에 따라 이의 적용 확대와 종래 기술의 치환, 고도화의 검토가 진행되고 보다 고도의 기능과 신뢰성을 가진 현장용의 예방보전 장치에 대한 개발이 이루어질 것으로 생각된다.

끝으로 이것이 현장에서 변압기 등의 보수와 관리 업무에 종사하는 사람들에게 참고가 되면 다행으로 생각한다. ☺

<다음호에 계속……>

**'91년도 교육미필 회원을 위한
전기안전관리사 직무교육
추가실시안내**

- 일자 : 1991년 12월 9일~11일
- 장소 : 서울 중구 남대문로4가 45
대한상공회의소 1층 강당
- 전화 : 16-3309(강당), 316-3620(관리과)