



중국에서의 전력기기에 대한 진단 기술

嚴 璋

(西安交通大學 電氣絕緣·HV工學科 教授)

Key Words : On-line, Leave-line, $\tan \delta$, 부분방전

1. 개 요

1949년 이후, 중국에서의 전력사업은 급속히 증가하였으며, 1949년부터 1994년까지의 에너지 생산의 연평균성장률과 기존에 장치용량은 각각 12.68%와 10.97%이다. 하지만 중국의 많은 인구와 발전중인 산업의 엄청난 수요로 인하여 전기에너지의 부족은 여전히 중국의 가장 심각한 문제이다. 그래서, 서부에서 동부로 전력에너지를 전송하기 위해서도 더욱더 고압의 AC와 DC 전송 system 채택이 적절하다. 최근까지는 많은 500kV AC계통과 하나의 ± 500 kV DC Link를 운영하였다. 다른 한편으로는, 설치된 전력기기의 안전운전을 어떻게 보장 할 것인가가 또 다른 중요한 문제이다. 그러므로, 절연진단이 온 나라의 전력설비에 더 많은 관심이 기울어지고 있다.

2. Leave-line 예방Tests

50년대초, 그 당시 주로 구 소련으로 부터 도입이 된 중국의 "전기설비에 대한 예방시험 규정 (Regulation of Preventive Tests on Electrical Equipment : RPTEE)"에 의하면, 전력기기의 현장 절연예방시험이 중국에서 사용되어지기 위해서 시작되었다.

그 당시의 RPTEE의 주요항목은 절연저항 R_i , 흡수비율 R_{60}/R_{15} , 누설전류 I_x , 손실인자 $\tan \delta$, 절연유의 내력 등을 측정하기 위한 것이었다. 이런 모든 예방시험은 매 1년에서 3년마다 전압을 인가하지 않은 설비상에서 이루어졌다.

이런 전통적인 시험에 기초를 두어, 습하고 몹시 결함이 있는 대다수 설비를 검사하였다. 하지만 단지 이런 시험만으로는, 이들 leave-line test의 시험전압이 주로 너무 낮은 이유로 더 높은 전압이 가해진 노후된 설비를 찾아내기가 어렵고, 심지어는 피시험설비의 작동전압보다 매회 낮았다고 밝혀졌다.

그러므로, 유침절연체의 유용성(油溶性)가스의 크로마토그래프, 부분방전 측정 등과 같은 좀더 효율적인 시험법이 점차 도입되어졌다. RPTEE의 1985년도에 발표된 주요사항은 다음과 같이 언급하고있다.

- ① 절연저항 R_i , ② 누설전류 I_x ,
- ③ DC 내전압, ④ 전력손실인자 $\tan \delta$
- ⑤ 절연유의 측정, ⑥ 수분함량의 해석,
- ⑦ 유용성(油溶性)가스의 크로마토그래프,
- ⑧ 부분방전, ⑨ AC 내전압

이들 모든 것들은 아직 leave-line이지만, 특히 고전압 기기와 용량이 큰 기기에서 R_i , I_x , $\tan \delta$ 를 측정했던 초기의 전통적인 예방법보다는 효과적이다.

최근 많은 활선(on-line)시험법이 개발되었으며, 일부는 운용중에 있다. 활선(on-line)시험법의 효율성은 명백하며, 그외의 것도 여전히 증대되어져 가고있다.

90년대초부터 개선된 활선(on-line)진단을 기초로, 보수 system 또한 일부 기기에서 변화하였다. 즉, 보수를 기본으로 하는 조건(Condition Based Maintenance : CBM)을 보수를 조건으로하는 시간(Time Based Maintenance : TBM)대신에 사용하고 있다. 이러한 경험에 따라서 CBM이 도입된 이후 실제로 매년 0.01%가량 신뢰도가 증가될 것이며, 상전횡수도 40%가량 감소되었다.

3. U_0 또는 $\tan \delta$, C의 on-line측정

HV bushing, current transformer, coupling condense 등의 정전용량 C와 $\tan \delta$ 변화를 측정하는 것이, 특히 on-line 혹은 인가된 전압이 더 높은 시험전압인 leave-line시험동안에, 다소 효율적인 진단방법 이다. Shering Bridge법으로 leave-line현장 시험 도중에, $\tan \delta$ 값을 알고있는 다른 하나의 용량성sample 혹은 하나의 저등급전압 표준capacitor를 가지는 PT를 비교하는데 사용할 수 있다. on-line시험에 관해서는 고정된 형태

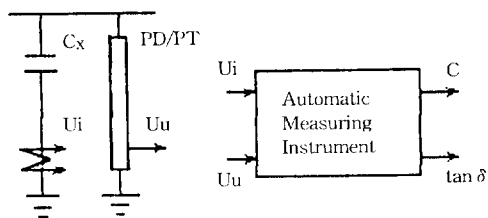
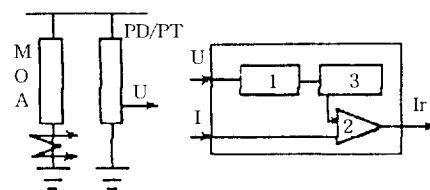


그림 1. Schematic diagram for on-line measurement of C_x and $\tan \delta$



1. 90° phase shifter
2. differential amplifier
3. amplifier of controllable gain

그림 3. Schematic diagram of I_r measurement

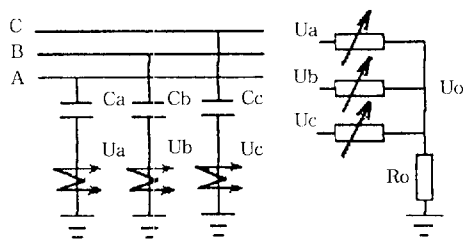


그림 2. Schematic diagram for on-line U_o measurement

system과 휴대형태system 둘 다를 측정하는 $\tan \delta$ 가 개발되고 있으며 변전소에서 사용되어지고 있다. 그것의 기본 도해를 그림 1에 나타냈다. 80년대초, filter, 90° 위상변환기, 측정기기를 포함하는 "Hardware Method"을 이용하였다. 컴퓨터 기술의 발전으로 "Software Method", 예를들면 A/D converter, digital filter, fast fourier transform등이 on-line 시험에 더 많이 이용되고 있으며, 측정된 $\tan \delta$ 치는 다소 안정적일 것이다. 하지만 일부 기기에서는 그림 2에서 보이듯이 unvalence 전압 U_o 를 측정키위해 사용하는 것을 선호한다. Y결선의 중성점 U_o 를 측정하는 것은 같은 시료의 $\tan \delta$ 값을 측정하는 것보다 더 민감한 문제이지만, U_o 는 또한 다른 인자로 인해 변할 수 있을 것이다. 그래서 C 그리고 U_o 의 복합된 측정은 일부 변전소에서 관심이 되어지고 있다.

4. 누설 또는 도전전류의 on-line 측정

on-line 누설전류 I_x 측정을 이용하여 벨브 형태 피뢰기의 대다수 결함이 발견되어서 일부 지역에서는 leave-line 시험법 대신에 on-line 예방시험법이 가능할 수 있다. 그리고, I_x 를 쉽게 on-line 측정하기 위해서는 많은 고정 혹은 조임 CT방법이 또한 개발되어지고 있다. 금속산화피뢰기(Metal Oxide Arrestor : MOA)에 관해서는, I_x 를 측정하는 것이 감쇠된 것들을 조사하기 위해서 유용할수 있지만, MOA 노화과정에서는 민감한 문제는 아니다. 그래서 그것의 저항성분 I_r 혹은 전력손실 P를 on-line 측정하기 위한 여러종류의 기기가 수입되어지거나 중국에서 만들어지고 있다. 그림 3은 그것의 도해를 보이고 있다. MOA의 서로 다른상 사이의 용량성coupling에 의해 야

기되는 부정확한 I_r 수치문제를 해결하기 위해서 3차고조파 성분에 기본을 두고 있는 0점을 찾거나 또는 Double CT방법 등과 같은 일부 제안들이 실행되어졌었다. 다른 나라와 비슷하게 DC초마디법(DC Superposed Method)과 DC 성분법(DC Component Methods)이 중국내 XLPE케이블의 on-line 진단을 위해 노력되어지고 있다. 현장interference(noise)때문에, 일부 기기에서는 겹쳐진 DC저전압의 극성 변화가 정확한 진단에 도움이 될 수 있기 때문에 DC초마디법 사용을 더 선호한다. 하지만 여러번 단지 이 방법에 기준을 두어 XLPE케이블을 정확하게 진단하기는 아직도 어렵다. 그리고 0.1Hz AC내전압방법이 XLPE케이블진단을 위한 많은 설비가 관심중에 있다.

5. 유용성 gas 분석

함침유변압기의 정전용량이 크면 클수록, $\tan \delta$, C 혹은 I_x 의 방법이 더욱더 비효율적일 것이다. 그래서 부분방전(PD) 시험과 유용성gas(DGA)와 같은 좀더 효율적인 방법이 개발되었으며 광범위하게 사용되었다. 이러한 방법으로, 대다수

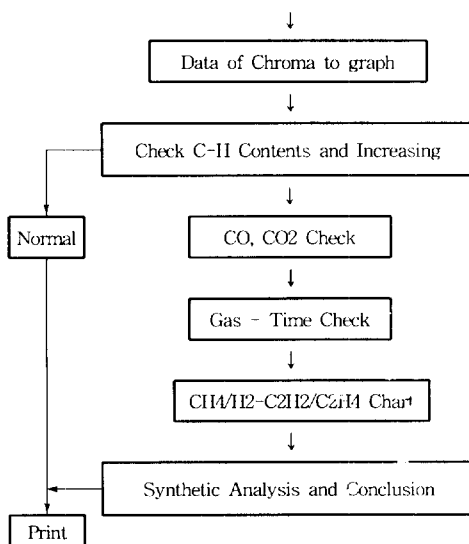


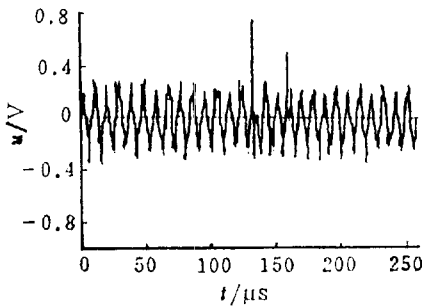
그림 4. Flow Chart of DGA using ES

결합있는 함침유장비를 조사하였으며, 그래서 더더욱 설비에 관심이 되고 있다.

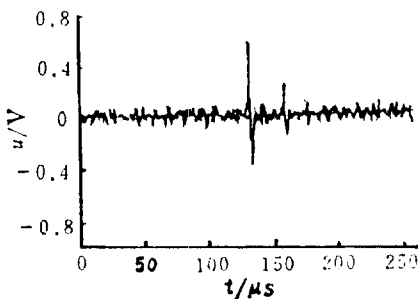
현재까지, 크로마토그래프방법이 DGA를 위해 광범위하게 이용되어지고 있지만, 현장진단에는 적합하지가 않다. 그래서 많은 새로운 방법들이 개발되었으며 이들중에 일부는 동작되어지고 있다. 예를들면, 투과성필름과 결합한 수소sensor방법이 현장 수소량검출을 위해 사용되었다. 투과성필름의 수명과 수소sensor의 안정성 둘 다 많은 연구후 개선되어졌다. 유용성 gas내에서 다른 함량의 스펙트럼차에 기본을 두어 한가지 광학적 방법이 개발되어지고 있다. 모든 변전소에서 전력변압기가 주요 장비이기 때문에, 전문system(ES)의 대다수 program들이 전력변압기의 절연진단에, 특히 DGA data를 해석하는데 최초로 이용되어졌다. 그림 4는 진단의 다른 방법으로 DGA data를 합성적으로 해석하기 위한 보기의 한 예이다. 그리고 fuzzy 수학, 인공지능network(ANN)등이 점차 Expert System에 또한 포함되어지고 있다.

6. 현장 PD측정

PD가 HV와 EHV장비의 유기절연재료의 노화를 초래하는 주요한 이유이기 때문에, 공장과 현장에서는 그것의 PD특성을 검토하는게 매우 중요하다. 하지만 현장 PD측정중에 잡음으로부터 장비의 쓸모있는 PD신호를 분리하는게 큰 문제점으로 될 것이다. 그래서 하나의 전력원이 적절한 無PD(non-PD)



(a) collected, before filtering



(a) collected, before filtering

그림 5. Signal of a 110kV transformer during on-line PD test

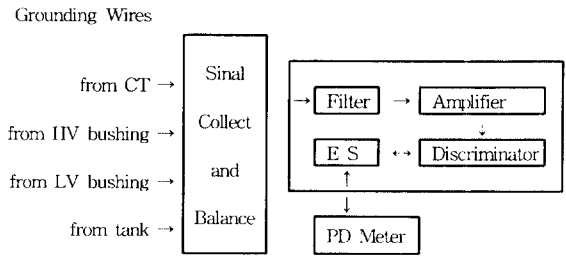


그림 6. A schematic diagram of on-line PD measurement

가 장착된 특별한 실험차 방법이 중국의 여러지역에서 이용되어지고 있다. 이 방법을 사용하여, EHV전력 변압기와 GIS의 대부분의 측정이 현장에서 이루어졌다. 그리고 종종, 피시험체 장비의 PD신호의 단지 pC일부를 조사할 수 있다. 하지만 이 방법은 활선(on-line)이 아닌 현장에 적합하여, 장비가 막 설치되어졌을때나 수리된후의 실험에 더 적합하다.

on-line PD측정에 관해서는, 신호억제와 신호식별에 다음과 같은 더 많은 관심이 이루어져야 할 것이다.

- ① 전기적인 방법과 결합된 초음파 방법
- ② 그림 5에서 나타내는 잡음을 억제하기위한 Digital Filter 또는 Fuzzy Logic사용
- ③ 잡음으로부터 신호를 구별하기위한 극성구별과 인공신경망사용
- ④ 기기내에 끼워진 광sensor와 PD의 광섬유에 의해 전송되는 광신호사용
- ⑤ 그림 6에서 보이는 다중channel 전기적 방법사용이 또한 PD의 위치를 찾는데 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Z.Yan : "On-line Diagnostic Technique of Electrical Insulation" (Book, in Chinese), Hydro-Power Press, 1995.
- [2] Ministry of Power : "Regulation of Preventive Tests on Electrical Equipment" (Book,in Chinese), 1985.
- [3] Z.Yan : "Recent Progress in the Technology on Insulation Diagnosis in China," Proceeding of 1994 International Joint Conference, Sept.1994, Japan, pp.235-242
- [4] C.D.Sheng : "Fault Discharge Monitoring of Electrical Device under Operation, the Present Situation and Prospect in China," *ibid.*, pp.281-286
- [5] W.G.Chen et al : "Influence of Capacitive Coupling on On-line Diagnosis of 3-Phase Metal Oxide Arrester," *ibid.*, pp.311-314
- [6] C.C.Wang et al : "A Pulse Polarity Discrimination System Used for On-line PD Monitoring," *ibid.*, pp.375-378
- [7] W.D.Xue et al : "A Study of Measuring Technique for Micro-gas Concentration Dissolved in the Transformer

Oil," *ibid.*, pp.439-442

[8] K.R.Song : "On-line MeasureMent of PD for HV Power Transformer," Proceeding of 2-nd Sino-Japanese Conference on Electric Insulation Diagnosis, Oct.1992, Shang-

hai, pp.47-50

[9] G.Zhang et al : "An Expert System for Power Transformer Faults Diagnosis," *ibid.*, pp.57-58

저 자 소 개



嚴 璋 (Z. Yan)

Z. Yan 교수는 Xian Jiaotong 대학의 전기절연과 HV 공학과 학과장으로 재직중에 있다. 그는 1934년에 태어나 1953년 전기공학과를 졸업, 1956년 Jiaotong 대학 대학원을 졸업하였다.

그후 그는 Shanghai 대학과 Xian Jiaotong 대학에서 재직하였다. 그의 주요 연구분야는 HV와 전기절연이다. 그는 "Insulation of HV Equipment"과 "On-line Diagno-

sis of HV Insulation" 분야에 관한 책을 집필하였으며 부분방전 측정, 절연진단, 인공지능, 3차원 field의 계산과 측정등에 관한 100여편이 넘는 논문을 발표하였다. 그는 많은 나라를 방문하였으며, 1985년부터 1986년 미국에 있는 동안 Ohio State 대학에서 방문교수로도 재직하였었다. 지금까지 각 나라들과의 우호와 협력을 증진시키기위해 여전히 노력하고 있다.