



일본에 있어서 전력기기의 절연진단기술

松浦 虔士
(大阪大學 工學部 教授)

Key Words : 전력기기, 절연열화진단, On-line 절연진단, 절연잔존수명

1. 서 론

일본에서는 경제의 고도 성장기인 1960년대에서 1970년대의 중반에 걸쳐서 대량의 전력설비가 설치되고 1980년대에 들어서는 보다 고도의 기술을 이용한 고성능의 대용량 전력기기·시스템이 도입되어 현재에 이르고 있다. 일본의 9개 전력회사의 수요 최대 전력은 1995년 여름에 약 1억6천만 kW에 달하였다.

이와 같이 대용량에서 고성능의 전력설비를 고신뢰도로 효율 좋게 운용하기 위해서 일본에서는 다음과 같이 중점을 두고 전력설비의 절연진단기술의 개발을 행해 오고 있다.

- (1) 절연열화기구의 해명과 열화판정기준의 명확화
- (2) 절연진단계측에 있어서 노이즈의 저감과 제거
- (3) 절연열화진단의 On-Line화
- (4) 절연잔존수명추정법의 개발
- (5) 절연진단에 컴퓨터AI의 이용

절연진단은 그림 1에 나타낸 바와 같이 전력설비의 예방보전 중의 일부로서 위치하고 있다.

그림 1에 있어서 전력설비의 절연체에 가해지는 전기적, 열·기계적, 환경적 스트레스의 종류와 크기, 또 그것들에 의한 절연열화의 양상은 전력설비의 종류 즉 회전기, 정자기, 신도 각각에 따라 다르다. 따라서 다음에 전력설비의 종류별로 일본에 있어서 절연열화 진단기술의 현황과 연구개발 동향을 소개한다.

2. 회전기(발전기, 전동기)의 절연진단

회전기중에서는 대용량 터빈 발전기, 수차발전기 및 대형전동기의 절연열화 진단이 중요시 되어지고 있다. 이들의 대용량 대형회전기의 절연체에서 가장 중요한 부분은 고정자의 전기자 코일이고 그림 2에 나타낸 바와 같이 침입부에 대해서는 마이카와 합침수지(에폭시, 폴리에스테르) 및 보강재(glass fiber, 필름)로 구성되어진 절연체가 이용되어지 coilend부는 기중에서 변곡되어지나 연면방전을 일으키지 않도록 하기 위하여 표면에 전계완화층을 설치하고 있다. 이와 같이 절연 형태를 갖는 것으로 주된 열화 요인은 열 사이클과 기계적 스트레스, 진동 및 전기적 스트레스이다. 이 경우 절연열화는 열 스트레스에 의한 마이카 에폭시계면의 박리와 에폭시수지층의 크랙 및 반복되는 기계스트레스에 의한 마이카층의 열화라는 형태로 나타나는 것으로 SEM(주사형전자현미경)에 의한 관찰로 밝혀지고 있다.

위와 같이 열화기구·형태가 명확하게 되어지고 있는 것으로 절연열화진단 파라미터로서 고전압회전기의 경우는 정기점검시에 있어서 절연저항, 정극지수, 유전정접, $\Delta \tan \delta$, 교류전류증가율 및 최대방전전하량이 선택되고 있다. 이들의 계

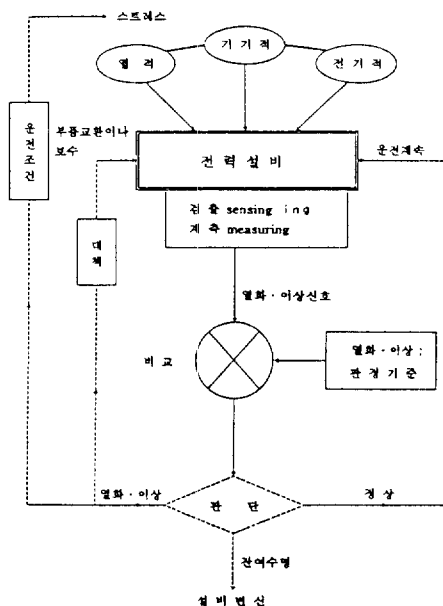


그림 1. 전력설비의 예방보전과 절연진단

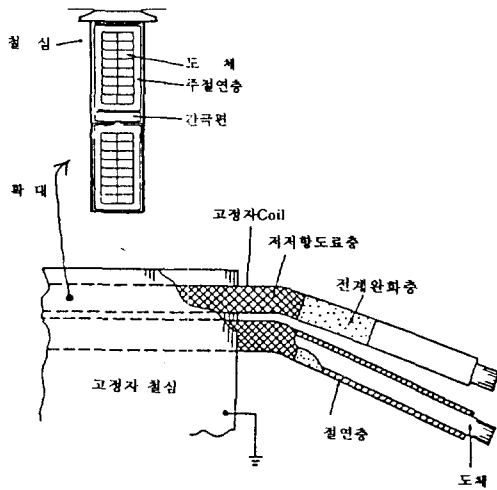


그림 2. 회전고정자코일의 절연구성

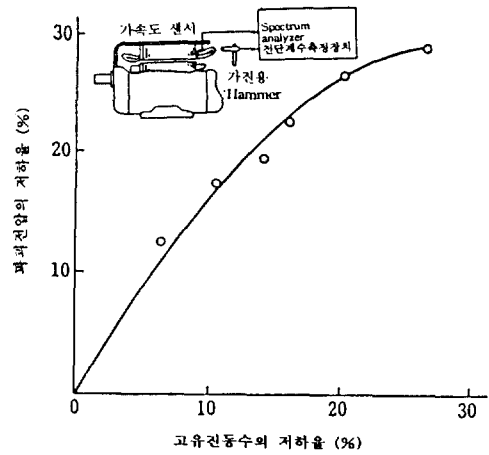


그림 4. 고전압전동기코일 절연체의 파괴전압과 고유진동수의 관계

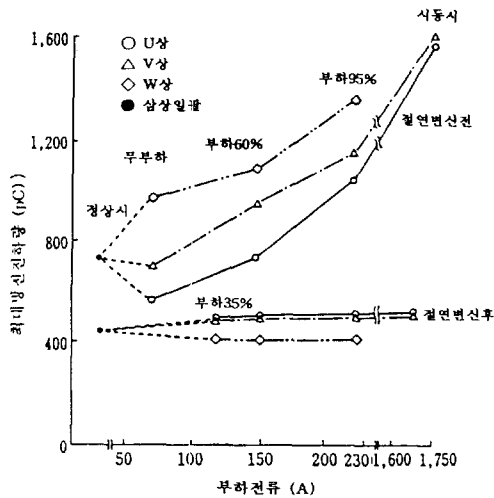


그림 3. 고압전동기의 On-line부분방전측정결과

파라미터 중에서 가장 절연열화 검출에 유효한 것은 최대방전 전하량이라고 하며, 그 값이 수천pC를 넘는 경우를 요주의, 20000~30000pC보다도 큰 경우는 불량이라고 판정이 내려진다. 정기점검시의 절연열화진단의 결과, 문제가 일어나는 경우는 코일 절연의 교체가 이루어진다.

고전압운전절연진단기술의 일본에 있어서 최근의 연구 중심은 On-line(운전중) 진단기술의 개발이 있다. 이것은 진단에 요하는 사람과 시간의 절약 및 절연잔존수명 추정에 유효한 열화파라미터의 시계열 data측정의 필요성부터 요구된다. 이 경우 절연열화 파라미터로서 부분방전관계량 및 코일단부의 기계적 진동주파수등이 선택되고 있다. 그림 3은 전력중앙연구소에서 개발된 수차발전기의 On-line부분방전 측정장치가 있으며 이 장치에서는 결합콘센서의 저압측에 Creep식 pulse센서를 삽입하고, 부분방전pulse를 검출하고 있다[2].

마이카를 주절연으로 하는 고정자 코일절연의 부분방전전하량의 요주의 level은, 수천 pC으로 되고 있는 것으로 노이즈의 영향을 받기쉬운 On-line측정에 있어서도 부분방전의 검출은 비교적 용이하나, 필요한 경우는 노이즈 저감대책으로서 평형검출법이나 위상gate법 등을 이용하고 있다. 또 최근에는 발전기 고정자 코일절연체에서 부분방전과 동시에 발생하는 수 GHz의 전자파를 비접촉센서(안테나)로 검출하는 시도가 大阪大學의 그룹을 중심으로 행해지고 있으며[3], 계측신호파형 wave let변환으로 처리하는 등의 노이즈저감대책을 가미하면 유효한 On-line부분방전계측이 행해지는 것으로 기대되고 있다[4].

On-line 부분방전검출에 위한 절연열화진단의 유효성을 나타낸 하나의 예로서 그림 3에 운전중의 고압전동기의 최대방전 전하량 Q_m 의 측정결과를 나타냈다[5]. 이 고압전동기는 화력발전소에서 8만시간 운전되어진 것으로 Q_m 의 부하전류의존성이 절연개신 전과 후에 현저하게 다른 것이 확인된 것으로 코일고정강도의 진단에 유효하다.

그림 4는 진동검출법에 의한 On-line 절연진단의 방법과 코일절연체가 열화하여 균열이나 박리가 일어났을 때의 절연파괴전압저하율과 고유진동수 저하율의 관계를 나타낸 것이다[6].

회전기운전중 코일은 전자력에 의해서 진동되어지는 것이 이 방법을 사용함으로써 On-line진단된다. 3kV급의 전동기의 실기내구성시험에 있어서 초기상태의 코일고유진동수 450~465Hz로 저하한다는 data가 관측되고 있다[6]. 이 방법은 그림 4의 중에 나타낸 바와 같이 가진용 Hammer를 붙이면 정지 중의 절연진단에도 사용할 수 있는 것으로 유망한 방법의 하나로 생각된다.

컴퓨터에 의한 회전기코일의 절연열화진단을 Expert system에 의해서 행해지고 있다. 일본에서 개발된 하나의 예로서, 진단시스템의 구성이다[7].

3. 정지기 (변압기, GIS, 피뢰기 등)의 절연진단

3.1 변압기

유입변압기의 절연열화진단은 유증가스분석과 부분방전검출에 의해서 행해지고 있는 것이 보통이다.

경우에 따라서는 보완적으로 절연유의 절연파괴전압이나 수분함유량을 조사하는 것도 있다.

유증가스분석에 의한 진단의 기본적인 것은 전기회회연구 기법에 기초로 하는 가스패턴에 의한 진단을 한다[8]. 이것은 절연열화 이상에 의해 발생한 가연성 분해가스를 H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 의 순으로 X축에 나열하고 Y축은 이들의 성분중 최대 함유량의 것을 1로서 각성분의 조성비를 plot하여 그들을 연결하는 극선의 형태에서 이상의 내용을 진단하는 방법이다. 이것은 가연성분해가스의 성분비의 값에서 열화·이상상태를 판정하는 방법이다. 유증가스분석법은 채취한 오일에서 가스분석그래프에 의한 조성분석까지의 일련의 작업이 복잡하여 많은 시간과 노력을 요한다. 그래서 최근에는 상시감시에 의한 이상의 조기발견과 사고의 미연방지를 목적으로 한 자동가스분석장치가 일본의 maker에 의해서 개발되어 사용되기 시작했다. 이것에는 채취한 오일에서 다종류의 가스의 분석 data처리까지를 자동적으로 하는 본격적인 장치와 수소나 아세틸렌과 같은 단일가스 혹은 수 종의 가연성가스만을 검출하는 간이 휴대용의 장치가 있어, 목적에 대응하여 사용이 되고 있다[9].

단일가스 성분에서 이상을 검출하는 경우, 검출가스 이외의 가스성분에 의한 영향이 오차요인으로 되는 것으로 주의가 필요하나, 반도체 H_2 가스센서를 이용하면, 각각의 타가스성분에 대한 H_2 가스 선택성은 99.5%를 상회할 수 있다. 유입변압기의 절연잔존수명은 유증의 Fluftral량 혹은 CO_2+CO 가스량으로부터 절연지의 셀룰로스중함도를 판정하는 것에 의해서 행해진다[10].

중함도를 수명판정의 지표로 하는 이유는, 절연지의 기계적 강도가 셀룰로스의 평균 중함도에 의존하고, 변압기권선에서 단락시의 전자력이 작용할 때의 절연파괴강도와 관계하고 있기 때문이다. 이들의 관계가 정량적으로 검토되어진 결과, 단락전자력 작용의 조건에 대하여 절연지의 인장강도가 초기의 60%로 저하하면 수명 한계로 되는 것을 나누어 그것에 대한 셀룰로스의 평균중함도잔율은 40~50%로 되는 것을 실험적으로 알려졌다[11]. 한편, 평균중함도잔율 40~50%의 때의 Fluftral생성량은 절연지 단위중함당 바라스키를 포함한 0.023~0.16 mg/g, CO_2+CO 가스 생성량은 1~4ml/g인 것이 실험에서 구해졌다[11]. 이것은 권선전체가 동일온도에서 열열화한 경우에 상당하나, 실험의 변압기에서는 절연지가 동일하게 가열 되어지지 않은 것 또한 Fluftral의 경우는 더욱 절연지에 의한 흡착보정을 고려하고 있다. 그 결과 권선의 최대온도부에서 가열된 셀룰로스 평균중함도 잔율이 수명한계인 40~50%로 될 때의 Fluftral양과 CO_2+CO 가스량은 각각 0.002~0.034mg/g 및

0.422~1.69ml/g로 하고 있다. 이들을 기초로하여 절연수명이 라고 보는 표 2와 같은 판정기준이 주어지고 있다[12].

부분방전에 의한 진단에서는 고주파전류센서나 초음파센서가 이용되어지고 있으나, 노이즈의 영향을 받기 쉬운 것으로 결과의 신뢰성은 유증가스분석법 보다 뒤지는 경우가 있다. 그러나 고체물드 변압기의 절연진단에는 부분방전법이 유효한 것으로 노이즈 저감대책을 중요한 과제로서 연구되어지고 있다. 컴퓨터에 의한 절연진단은 Expert system에 의해 행해지고 있으나, 더욱이 유용하게 하기 위하여 Fuzzy이론의 도입에 의해 측정정확도를 향상시키거나, 항시감시 장치로 부터의 정보를 On-line으로 취하며 운전경력이나 개수경력을 Database화하여 Real time으로 종합판정할 수 있도록 할 필요가 있다고 생각된다.

3.2 GIS

절연열화의 형태로서 전형적인 것은 SF_6 가스와 에폭시수페이서로 절연된 모선의 가스중에 혼합한 미소금속이물에 의한 부분방전 열화이다. 이와 같은 부분방전열화의 초기부터 말기에 이르는 경과와 그것을 감지하는 센서의 군으로 이루어져 있다. 초기의 열화 예고 신호는 level이 작은 것으로 미소진동을 감지하는 초음파라든가 가속도센서(압전형 : 감도 $10\mu G$)와 같은 역학적 원리에 의한 것, 및 미소전류 펄스를 검출하는 고주파CT(대역 : 30kHz~10MHz) 방사전자파를 검출하는 안테나와 같은 전자적 원리에 의한 것이 이용되고 있다.

최근에는 더욱이 신호과형을 스펙트럼 analyzer로 처리하여 정보량을 증가시키거나, 동기가산평균화처리, 차동처리, 미연감산처리, 위상gate처리 등의 각 종 노이즈저감 처리를 하여 신호의 S/N비의 향상을 시도하고 있다. 또 이와 같은 역학적·전기적진동은 수신장소(센서취부위치)에 의해서 도달시간에 차가 일어나는 것으로 열화부위의 위치의 확인에도 이용되어진다. 절연파괴 발생 시기에 가까우면 분해가스와 같은 열화생성물을 검출하는 지색시약(감도 : 0.03ppm)이라든가 가스분석 같은 화학·물리적 원리에 의한 센서, analyzer 및 발광을 검지하는 반도체소자 등의 광학적센서가 이용된다. 이 각종 센서는 직접적인 것으로 일반적으로 신호 level은 크고, S/N비도 높다.

지금까지의 경험에서 GIS에 있어서 유해한 이물의 크기는 GIS의 구조, 인가전압종류 및 이물의 존재조건에 따라 다르나, 3~5mm이상으로 되어진다. 그림 5은 500kV급 GIS모선에서 측정된 free이물의 이물크기와 최대부분방전전하량의 관계를 나타냈다. 그림에서 1.0PU은 운전전압(318kVms)이다. 이것에 의하면 최대방전전하량은 이물크기에 크게 의존하나, 전압 의존성은 작다. 이 그림에서 3mm의 free 이물은 검출감도가 5pC 이상이라면 GIS운전중에 On-line에서 절연진단이 가능하다는 것을 알 수 있다. 또 존재확률은 대단히 작으나, 스페이서 및 중심도체고정이물도 검출감도가 5pC 이상이라면 On-line 절연진단으로 검출가능하다[13]. 이와 같이 절연진단은 초기의 저level의 절연열화에고신호의 조기검출을 목적으로 하는

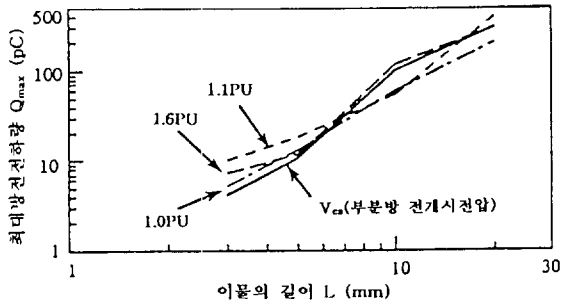


그림 5. GIS내의 free이물의 부분방전특성

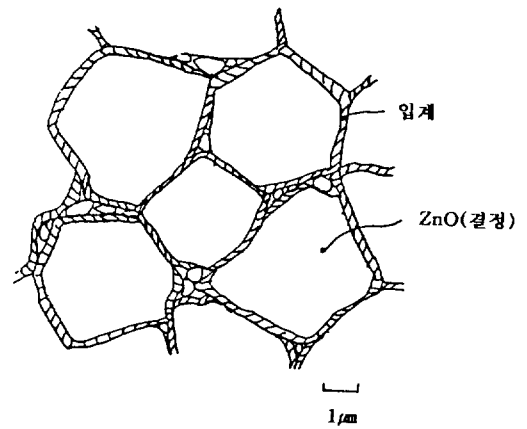


그림 6. 산화아연소자의 미세구조

것이다. 이것을 가능하게 하기 위해서는 S/N비가 높은 센서 (부분방전센서)를 사용하고, 출력을 스펙트럼 analyzer로 분석하여 750~1500MHz대의 검출 스펙트럼에서 수pC의 부분방전전하량의 검출에 성공한 예도 있다[14].

최근에는 GIS의 절연파괴예지의 연구도 행해지고 있으며 부분 방전의 발생위상과 방전전하량을 취한 PD파라미터의 $Q_{max} + (60^\circ - 120^\circ)/q_r(60^\circ - 120^\circ)$ 시간변화를 추적하는 것에 의해 절연파괴예지가 가능하다고 보고되고 있다[15].

3.3 피뢰기

최근의 전력설비용 피뢰기는 거의가 산화아연소자를 사용한 것이다. 이 소자의 미세구조는 그림 6에 나타난 바와 같이 큰 산화아연의 결정의 주변을 고저항의 입계상이 취해진 형을 하고 있다. 이 입계상이 하전담체에 대하여 큰 전위장벽으로 되고 피뢰기의 저항분전류를 억제하고 있다.

산화아연피뢰기의 절연열화는 Watts의 원인인 저항분전류가 사용중에 증대하는 현상이고, 최종적으로 피뢰기는 열폭주하여 절연파괴에 이른다. 따라서 산화아연피뢰기의 절연열화진단은, 저항분 전류를 검출하는 것에 의해서 행해진다. 저항분 전류파형은 그림 7에 나타난 바와 같이 정현파가 아니고 비선형성으로 왜곡되며 그와 같은 왜곡 저항분 전류에 포함되어서 있는 고주파 전류성분의 온도의존성의 측정예도 있다[16].

저항분전류법은 용량분전류에 상당하는 신호를 누설전류에서 빼는 Cancel법으로서 제3고조파성분이 가장 소자온도에 민감하기 때문에 그것을 측정하는 방법으로서 실용화 되어져 있다. 또 흡습에 의한 열화는 전누설전류를 측정하는 것에 의해서 진단가능하다. 지금까지 개발되어진 계측장치의 저항분 전류의 검출감도는 약 10μA이나 측정오차는 ±2.5~±10%의 범위이다.

열화진단에 있어서 판정기준은 산화아연소자의 열화기구가 충분히 해명되어 있지 않기 때문에 통일되어 있지 않으나 저항분전류가 266kV피뢰기에서 0.5mA, 500kV피뢰기로 1.0mA, 에자형 피뢰기에서 0.3~0.8mA를 수평판정의 관리값으로 하고 있는 예가 있다[17]. 또, 초기치의 1.4배 정도로 하고있는 경우도 있다[17].

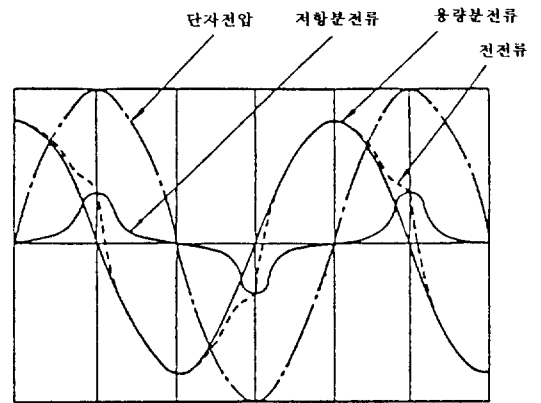


그림 7. 산화아연 소자의 누설전류

4. 케이블선로(OF, CV)의 절연진단

4.1 OF케이블

유침지절연을 주로하는 OF케이블 선로에서는, 절연지의 열화에 의해 CO₂나 CO가스가 유중에 발생한다. 또 부분방전이 일어나면 주로서 H₂가스, 아크방전이 있으면 C₂H₂가스가 유중에 발생한다.

통상은, 정기적으로 선로를 정지해 케이블접속부에서 절연유를 채취하고 유중가스분석에 의한 절연진단을 행하고 있다. 그러나 이 방법으로는 측정간격이 길게 되는 단점이 있다. 최근 동경전력은 이 결점을 없애기 위하여 선로정지를 하지 않는 상시 유중가스 분석시스템을 개발하였다[18].

이것은 절연유에서 분리한 발생가스 중에 특정과장의 적외광을 투과시켜 그의 감쇄량에서 발생가스의 성분과 농도를 알 수 있다는 원리에 의한 것이다. 시스템의 구성은 유중용해되어 있는 가스를 분리하는 2중원통구조를 갖는 가스셀과 전송로로서의 광fiber및 계측장치본체로 구성되어 있다. 이 시스템

템에서는 C₂H₂ 및 CH₄ 가스가 2~3ppm의 level로 검출가능하여 왕복 10km의 광fiber를 접속함에 부쳐서 가스셀과 접속하여 정기시험을 실시하여 가스농도의 원격측정이 가능한 것으로 확인되고 있다.

4.2 CV케이블

일본에서는 배전용CV케이블의 수트리열화와 송전용특고압 CV케이블의 부분방전이상의 검출을 절연진단의 주된 대상으로 하고 있다.

6kV급 CV케이블의 절연열화는 주로 수트리에 의한 것이다. 선로를 정지할 수 있는 경우에는 과거에 행해진 많은 연구에서 직류누설전류, 잔류전하, 유전정접 등의 절연파라미터의 값을 측정하는 것에 의해 수트리열화의 진단이 가능한 것으로 보고 있다. 그러나 열화의 경향을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 선로운전 중에 절연진단을 행할 필요가 있기 때문에 일본에서는 활선수트리 열화진단연구의 중점을 두어 왔다. 그 결과, 직류성분법 직류중첩누설전류법, 활선유전정접법 등이 실용화 되어져 있으나 아직 노이즈 영향제거라는 점에서 약간의 문제를 가지고 있다. 이것을 보다 실용화에 가깝게 되어 있는 직류중첩법을 생각해 본다.

직류중첩누설전류법은 등가회로이다. 활선측정중 접지용변압기GPT의 중성점을 열어 콘덴서C₁에 교류접지하고 직류전압E_{dc}을 중성점과 접지극간에 인가하는 것에 의해서 교류운전 전압과 과전중의 케이블절연체중에 직류전류I(→)를 흘려 급속과 케이블접지극간에 삽입한 측정기에 의해서 I를 검출한다. E_{dc}/I에 의해서 직류누설저항R₀을 구하여 E_{dc}을 50V로 할 때의 R₀의 값이 1000~2000MΩ정도이하에 있으면 수트리가 상당하게 진전되고 있다고 판정하고 있다.(판정기준은 표3참조)

표 1. CV케이블 직류누설전류법에 있어서 판정기준

절연저항치(MΩ)	판 정
1000이하	위험
1000~10000	요주의
10000이상	계속사용가능

이 측정에 있어서 노이즈 요인은 접지극의 국부전지작용에 의한 기전력 E₁, E₂과 전기철도나 전기방식장치에서의 지중전류에 의한 지표전위차E₃라고 생각 되어진다. E₁, E₂는 실측에 의하면 50~500mA의 범위이고 E₁ < E_{dc}이므로 E₁에 의한 영향은 무시 가능하다. E₂에 의한 전류는 주로 측정기-방식층-대지의 회로에 흐르는 것으로 방식층저항이 작을 때는 오차요인으로 된다. E₃는 토중의 미소전류의 감도에 의한다. 보통은 그것에 의한 면전계가 0.5~5mV/m의 범위내에 있는 것으로 케이블의 등가적인 길이가 100m정도에서 E₁=50~500mV에 달한 E₃에 의한 것과 같은 정도의 오차를 주어지게 된다. E₂는 시간적변동이 작은 것으로 그의 영향은 측정회로중에 제거용전원을 삽입시켜 제거하고 있다[20].

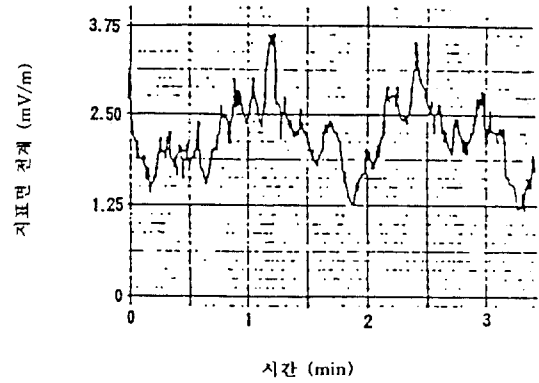


그림 8. 전기철도의 누설전류에 의한 비표면전계의 측정에

직류전기철도에 의한 지중미주전류는 그림 8에 측정예를 나타낸 바와 같이 시간적변동이 큰 것으로 E₃에 의한 측정오차를 제거하는 대책이 남아 있는 과제이다.

특고압CV케이블의 부분방전이상의 진단은 역시 선로운전 중에 행해지는 방향으로 개발실용화가 진행되고 있다. 동경전력과 케이블회사가 최근개발한 절연접속부의 시즈의 외측에 부전극을 설치한 사단자방식의 활선부분 방전측정pulse회로방법이 있다[21]. 외부노이즈의 영향을 소거하기 위하여 바란스법의 원리와 0.1Mz~수백Mz의 광범위의 주파수영역에 최고검출감도를 보기 위하여 가역주파수동기증폭을 붙이는 방법이다. 실제 케이블선로를 이용한 측정에 의하면 최상주파수는 수십MHz의 부분이고, 부분방전전위검출감도 0.5~5pC가 얻어지고 있다. 이 방식에 외부 노이즈패턴과 부분방전패턴을 판별하는 뉴턴네트워크를 첨가한 CV케이블 부분방전상시감시 시스템이 더욱이 연구되어지고 있다.

CV케이블선로의 대부분의 사고가 부속품부의 시공에 의한 것으로 부속품에서 발생하는 부분방전만을 검출대상으로 한 방식이 판서전력과 케이블회사에서 개발되어졌다[22].

전기회로적인 방식으로서 분해전극방식과 솔레노이드코일방식이 휴대용부분방전측정기로써 실용화되어졌다. 전자는 400kHz, 후자는 2~50MHz의 부분방전신호를 최고검출감도의 주파수에서 읽는 것으로 되어있고, 각각 77kV CV케이블 실선로에서 행해진 실험으로는 검출감도 4~5pC 및 5~10pC가 얻어지고 있다. 또 어떠한 방식에 있어서도 q-φ-n모드에 의한 측정이 가능하다.

기타 부분방전에 의해 발생하는 초음파신호를 접속상의 동관부에 붙인 AE센서로 검출하는 방법도 시도되고 있으나 측정검출감도는 최고 25pC정도이다.

최근, CV케이블의 선로준공시험에 있어서 절연의 검출을 위하여 종래에 실시하고 있는 직류내압시험의 검토를 중부전력과 케이블회사가 협동하여 행하고 있다[23].

그 결과 직류전압의 과전은 초기의 검출에는 유효하지 않고 진동파와 초저주파교류전압을 조합시킨 과전이 유효하다는 중간결과가 얻어지고 있다.

5. 결 론

회전기로서 발전기와 전동기, 정지기로서 변압기, GIS, 변전기, 선로로써 OF케이블과 CV케이블을 거론하여 각각에 대하여 일본에 있어 절연진단기술의 현황과 연구발전의 동향을 소개하였다.

크게 나누면 기초연구의 단계에 있는 것 실험실 level의 것 및 실현장에서 시험되어 실용화되어져 있는 것으로 분류되어진다. 그러나 기초연구단계의 것은 공간전하법과 같이 대단히 활발하게 연구되어지고 있다. 현재실시중 및 실용의 가능성이 높은 것을 중심으로 소개하였으나 이들의 절연진단기술은 앞으로 열화의 물리적·화학적기강의 상세한 해명을 기초로 하고, 센서기술과 노이즈 저감대책 및 컴퓨터AI를 축으로 하는 시스템화 기술의 진보에 의해, 보다 고도의 것이 발전되고 있다.

참 고 문 헌

[1] 兼田, 木村 : 「高壓回轉機絶縁のマイクロ劣化機構」, 電學誘電・絶縁材料研資DEI-92-38, 11-19, 1992.

[2] 池田, 岡本, 鶴卷 : 「水車發電機巻線の活線部分放電試験」, 電學絶縁材料研資EIM-89-11, pp.21-31, 1989.

[3] 木村, 伊藤, 松浦, 河崎, 勝田, 和田野 : 「ターゼン發電機の電磁波による部分放電計測法の検討」, 平成4年電學電力・エネルギー部門大會論文集, pp.548-549, 1992.

[4] 川田, 河崎, 松浦, 川崎 : 「電磁波空間位相差法を用いた非接触部分放電檢出法」, 電學論文誌B, 15卷, NO.10, pp.1168-1173, 1995.

[5] 船山, 山口, 五十嵐, 井上, 山田, 武田 : 「電動機の運轉中部分放電計測」, 電學絶縁材料研資 EIM-89-12, pp.31-40, 1989.

[6] 高橋, 他 : 安川電機 54卷, No.1, 1990.

[7] 宮尾, 神谷, 鈴木, 助田, 白井, 角田 : 「高壓回轉機絶縁診斷へのエスペートシステムの應用」, 電學論文誌B, 110卷, 4号, pp.267-276, 1990.

[8] 電氣協同研究會 : 「油中ガス分析による油入機器の保守管理」, 電氣協同研究, 第36卷, 第1号, 1979.

[9] 森田, 關木, 本多 : 「變壓器油中ガス檢出裝置」, 高岳レビュー-第36卷, 第4号, pp.18-22, 1989.

[10] 高橋, 月岡 : 「最新の油入變壓器経年劣化度診斷技術」, 電學誘電・絶縁材料研資DEI-93-98, pp.27-36, 1993.

[11] 張替, 後藤, 太田, 月岡 : 「フルフルールによる油入變壓器の劣化度診斷の研究」, 電學論文誌A, 112卷, 6号, pp.589-595, 1992.

[12] 電氣學會技術報告, 第502号 : 「電力設備の絶縁余壽命推定法」, pp.61-62, 1994.

[13] 岡部, 財滿, 山極, 石川 : 「GIS内金屬異物の部分放電特性と診斷技術」, 電學論文誌B, Vol.115-B, No.10, pp.1221

-1227, 1995.

[14] 遠藤, 大下, 山極, 山田 : 「GISの豫防保全システム」, 電學高電壓研資HV-89-3, pp.19-28, 1989.

[15] 加藤, 早川, 匹田, 大久保 : 「部分放電特性の推移に基づくGIS内絶縁破壊予知技術」, 電學論文誌B, Vol.115-B, No.10, pp.1193-1198, 1995.

[16] 白川, 遠藤, 栗田, 後藤, 酒井 : 「避雷器漏れ電流測定器による避雷器の予防保全技術」, IEEE PWRD, Vol.13, No.3, July 1988.

[17] 電氣學會技術報告, (II部) 第402号 : 「電力設備の運轉中絶縁診斷技術」, pp.86, 1992.

[18] 池龜 : 「東京電力における技術革新のあゆみ」, 電氣評論, 第81卷, 第363号, pp.73, 1996.

[19] 秋本, 龜田, 久我, 速水 : 「直流重疊によるCVケーブルの活線劣化診斷」, 電學絶縁材料研資 EIM-89-15, pp.59-67, 1989.

[20] 益尾 : 「ケーブルの絶縁劣化診斷技術と保守について」, 電力設備の豫測保全専門講習會講演論文集(電氣學會關西支部), pp.38-64, 1988.

[21] 戸谷, 後藤, 遠藤, 鈴木 : 「電力ケーブル線路の部分放電高感度檢出技術の開発」, 電學電線・ケーブル研資EC-94-21, pp.1-14, 1994.

[22] 中谷, 野間, 佐々木, 鈴木 : 「77kV CVケーブル線路の部分放電測定」, 電學電線・ケーブル研資 EC-94-21, pp.53-59, 1994.

[23] 小林, 内田, 平田, 田中, 佐久間, 岸, 井上 : 「CVケーブル初期欠陥檢出方法に關する研究(V)」, 平成6年電氣學會電力・エネルギー部門大會論文集(論文II), pp.553-554, 1994.

저 자 소 개



마스우라 겐지(松浦 虔士)

1938년 1월 1일생. 1960년 3월 오사카대학 전기공학과 졸업. 1963년 3월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1963년 4월 住友電氣工業입사(초고압전력케이블의 개발과 설계업무에 종사). 1976년 2월 오사카대학 공학박사.

1977년 1월 오사카대학 공학부 조교수. 1988년 3월 동 대학 교수(전력공학 강좌를 담당하고 전기에너지의 발생, 전송, 변환, 제어에 관한 연구에 종사). 일본전기학회 「전선·케이블기술위원회」의 위원장. CIGRE위원. 1995년 6월 국제열전변환학회(ITA)에서 Academician칭호를 받음.