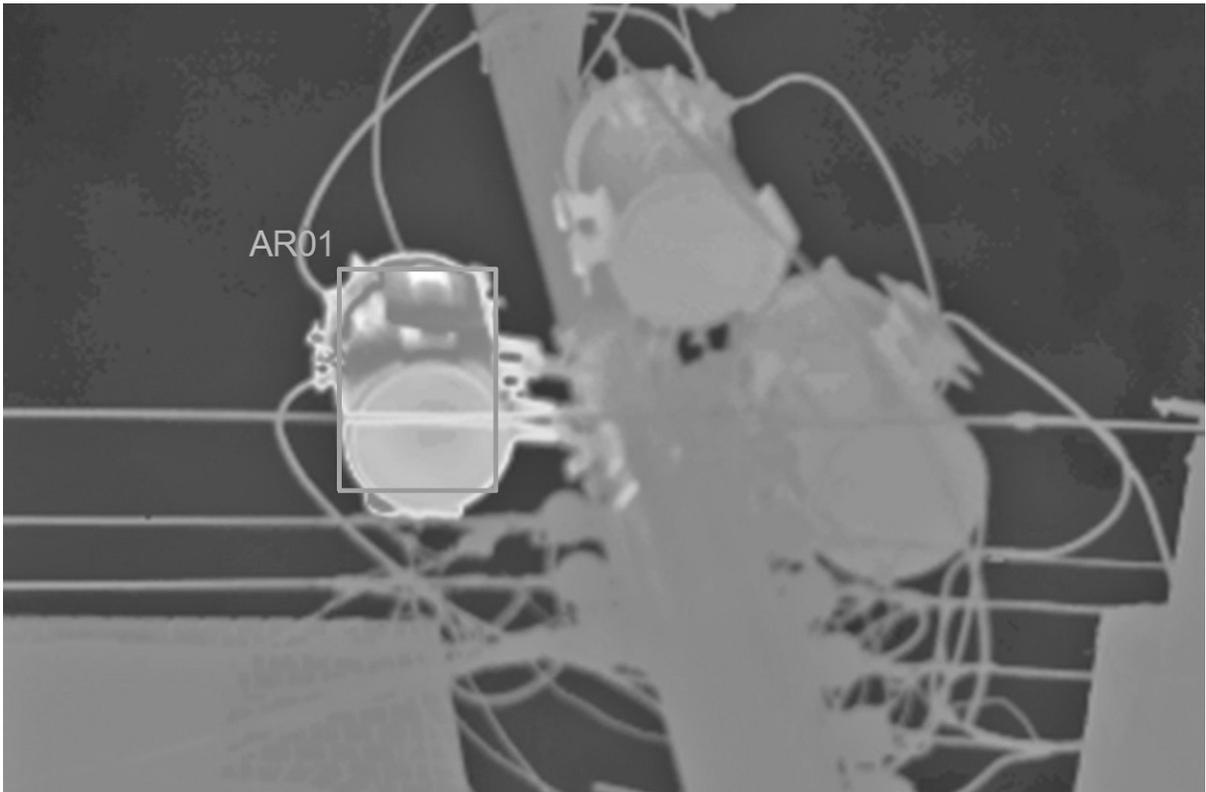


배전설비 진단기술 적용 현황 및 고도화 방향



홍성규
한전 배전운영팀장

1. 개황

우리나라를 포함한 세계 주요 선진국가의 전력설비는 대부분 포화상태에 이르러 앞으로 양적 성장은 한계가 있을 것으로 예상된다. 따라서 향후 전력설비 운영정책의 중심은 과거 개발 경제 시대의 대규모 설비를 빨리 확충하여 전력을 공급하던 정책에서 기 구축된 설비의 효율을 극대화하기 위한 유지보수 기법, 즉 수명의 종점까지 운영하여 설비투자 가치를 최대화 할 수 있는 경제성 기반의 운영정책에 초점이 맞추어질 것으로 예상된다.

또한 고객의 전력회사에 대한 Needs는 증가하여 사소한 정

전이나 전압변동도 허용하지 않는 고품질의 전력을 요구하는 상황으로, 전력회사는 경제성과 품질이라는 상반되는 요구사항을 모두 만족시켜야 하는 어려운 상황에 직면하게 될 것이다.

2. 현황

한전은 주요 설비로 870만 여 개의 전주와 지구 둘레를 32바퀴나 돌 수 있는 정도인 약 128만km의 전선을 현장에 설치·운영하고 있으며, 매년 주기적인 진단을 통하여 양호한 상태를 유지하고 있다.

2007~2008년부터는 단순 경과년수를 기준으로 노후정도를 판단하던 TBM(Time Based Management) 관리방식에서 설비별 열화인자(또는 계측인자)를 결정하고 이를 진단장비로 측정하여 축적된 데이터의 통계적 분석에 따라 불량설비를 교체하는 이른바 CBM(Condition Based Management)관리로 설비관리의 패러다임 전환을 시작하였으며, 그 결과 연간 정전시간의 축소와 불시 정전의 횟수가 두드러지게 감소하는 성과를 기록하였다.

매년 반복되는 동일한 유형의 기자재 관련고장은 대부분 품질관리 미흡이 원인이 되어 발생한다. 하자처리, 리콜 또는 동일한 Lot에서 생산된 제품을 일괄적으로 교체하는 등의 방법으로 설비관리를 시행하고 있으며, 이 방법은 과거부터 지금까지 주요 설비관리 방법 중의 하나이다. 하지만 CBM관리를 도입한 이후의 설비관리는 사후관리에서 사전관리, 즉 고장발생 후 원인규명에 따라 후속조치를 취하는 방법

에서 고장 징후를 도출하여 고장발생 전에 조치를 취하는 등 관리방법에 있어서의 큰 전환점을 이루게 되었다.

가. 가공 배전설비 진단기술

가공 배전설비의 진단은 1단계로 초음파 및 고주파 진단을 활용하여 불량이 의심되는 기자재를 1차적으로 분류해 내고, 2단계로 열화상 및 광학쌍안경 진단을 활용하여 발열여부나 외관상 방전흔적 및 균열 여부를 확인하며, 마지막 단계로 활선기별점검의 방법으로 근접 정밀점검을 시행하여 불량설비를 사전진단·적출해 내고 있다.

이는 각 진단 단계별 특성에 맞게 최적의 진단기술을 적용함으로써 한정된 인력과 시간, 비용의 제한조건으로 최대의 설비진단 효율을 얻기 위함이다. 각 단계별 설비진단 기법 중 여기에서는 초음파, 고주파 및 열화상 진단의 특성을 간단히 살펴본다.

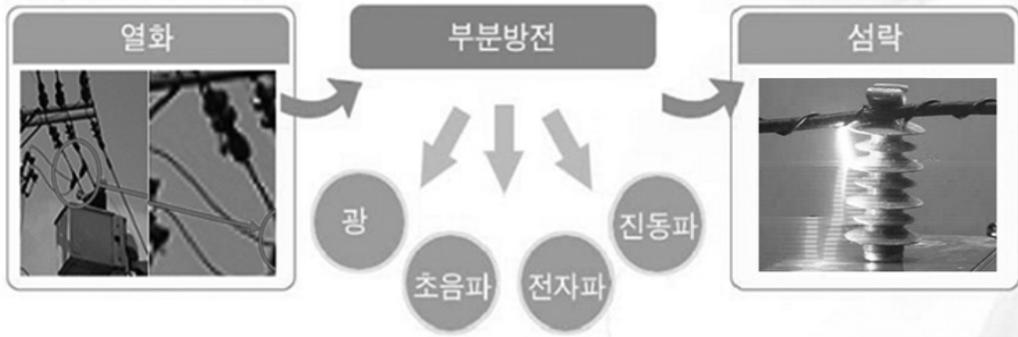
1) 초음파 진단기법

초음파 진단기법은 절연체의 열화에 의한 아크방전 또는 코로나방전으로 발생하는 초음파 신호를 검출하는 방법이다. 코로나 방전은 애자와 같이 공기가 절연체 역할을 하는 전력설비에서는 불가피한 현상으로, 도체의 구조, 인가전압의 크기, 기상상태 등 여러 조건에 따라 발생하는 초음파 신호의 크기에 차이가 발생한다.

이러한 초음파 신호를 검출하여 고장이 발생하기 전에 불량설비를 적출하는 것이 배전선로 초음파 진단의 기본 개념이다. 이러한 초음파 진단이 배전선로

[표 1] 한전의 정전 현황

구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
정전(건)	1,301	1,449	1,269	860	833	702
감소율(%)	△1.7	11.4	△12.4	△32.2	△3.1	△15.7
정전시간(분/호)	16.08	15.59	15.15	12.4	12.07	11.53



[그림 1] 배전설비 열화 진행단계 및 부분방전 신호 개념도



[그림 2] 배전선로 초음파 진단 개요

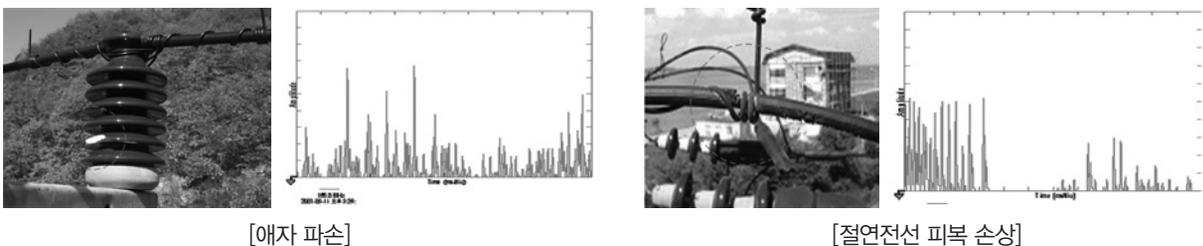
적용에 유리한 이유는 측정장치가 비교적 간단하고 소형으로 현장적용이 용이하고, 전기적인 측정법과는 달리 상호간섭을 일으키지 않으며, 기기의 정전용량 및 전기적인 외부잡음에 의한 영향을 받지 않는다는 장점이 있기 때문이다.

배전설비의 초음파 진단에 적합한 주파수 대역은 20~40kHz이라고 할 수 있으며, 특히 40kHz 대역의 주파수를 현장에서 주로 활용하고 있다. 이는 주파수가 높을 경우 신호의 감쇄로 인한 수신 음압레벨

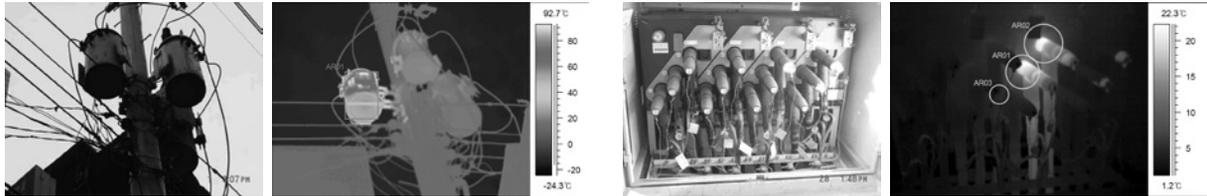
에 불리한 점이 있기 때문에 지상에서 10m이상의 가공설비의 진단에 적합하지 않고, 주파수가 낮을 경우 가청주파수 대역의 외부잡음에 의한 영향과 초음파 신호의 지향성이 감소하여 세부 불량기자재의 확인이 곤란한 점 등의 단점이 있기 때문이다.

2) 고주파 진단기법

고주파 진단에 활용되는 잡음은 방사성 잡음으로 배전설비 절연열화 시 복사 전자기장에 의해 발생되



[그림 3] 배전선로 고주파 검출장비 활용 불량설비 적출 사례



[주상변압기 과부하]

[지상개폐기 접속개소 과열]

[그림 4] 열화상 진단기법 사례

는 잡음을 의미한다. 고주파 잡음 측정기술은 각 국가별 주파수 분배표에 지정된 대역 이외의 범위에서 발생하는 신호를 원거리에서 검출하고, 발생위치를 축소해 나가면서 방사전파 발생 전주를 확인하는 기술로써 고주파 검출장비를 차량에 탑재하여 고속으로 주행하면서 점검을 할 수 있어 점검시간이 획기적으로 단축될 뿐만 아니라 점검수량의 대폭적인 증대가 가능하다.

그러나 고주파 잡음은 방향성이 없어 고주파 검출 장비로는 잡음의 세기 및 파형으로 잡음발생 전주의 대략적인 위치를 찾을 수는 있으나, 전주상의 세부 불량설비를 확인하기 어렵다. 또한, 고주파 검출장비는 외부 노이즈의 영향으로 검출 신뢰도가 떨어지는 도심지나 공단지역에서는 사용이 다소 곤란한 단점이 있다.

3) 열화상 진단기법

적외선 열화상 장비는 피사체의 표면으로부터 복사되는 에너지를 전자파의 일종인 적외선 파장(Infrared wavelength) 형태로 검출하여 피사체 표면의 복사열의 강도(radiant heat intensity)를 측정하여 강도에 따라 각각의 다른 색상(False or Pseudo color)으로 표현하여 주는 장비이다. 최초에는 군사용으로 제작되어 사용되었으나, 최근에는 산업용으로 널리 활용되고 있다.

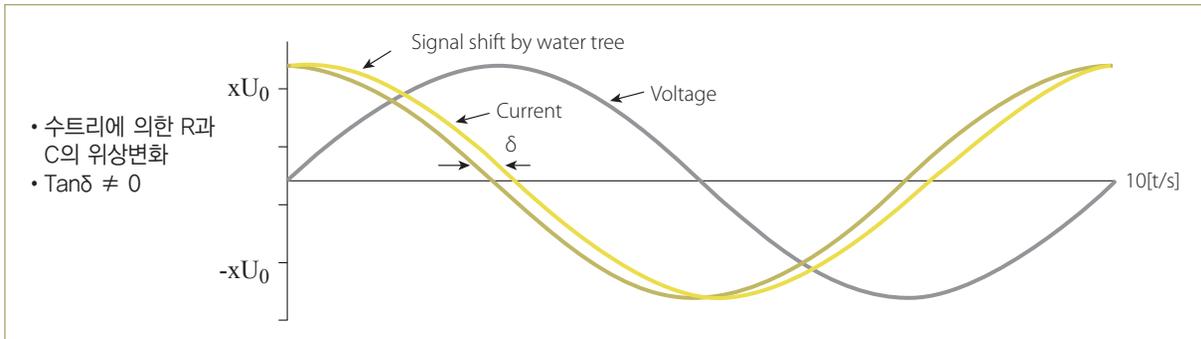
배전설비에서는 주로 접속개소, 변압기 과부하 등 과열개소를 색출하는데 매우 효과적이어서 가공배전

설비 뿐만 아니라 지중배전설비와 특고압 수전설비에도 적용할 수 있는 등 사용범위가 넓으며 설비 점검자가 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 적외선 열화상 장비는 피사체가 햇빛에 직접 노출되어 있는 경우 표면에서 반사되는 복사에너지로 인해 피사체의 표면온도를 측정하기 어렵기 때문에 야외에 노출되어 시설된 배전설비를 적외선 열화상 장비로 점검하기 위해서는 맑은 날 주간을 피해 야간 또는 흐린 날에 점검을 시행해야만 그 효과가 크다 할 수 있다. 아울러 외부기온에 민감하여 혹한기에는 과열개소에 대한 점검이 다소 어려울 뿐만 아니라 절연전선의 피복손상이나 애자류 불량개소와 같이 발열량이 적은 개소에는 적용하기 곤란한 단점이 있다.

나. 지중 배전설비 진단기술

지중 배전설비의 진단은 주로 케이블과 지상기기의 점검으로 나누어진다. 케이블에 대한 진단기술로는 케이블의 유전손실을 측정함으로써 열화여부를 판단하는 유전손실 측정기(VLF tan δ) 진단기법이 있으며, 지상기기에 대한 진단기술로는 앞서 가공설비의 진단기술로 설명한 열화상 진단장비를 활용하고 있다. 또 최근에는 휴대용 부분방전 장비(PD)를 도입하여 지상기기의 부분방전여부를 진단에 활용하고 있다. 여기에서는 지중 배전설비 진단기술의 가장 대표적인 VLF 진단기법에 대해 간단히 설명하기로 한다.

지중케이블 수트리의 측정원리는 기본적으로 수



[그림 5] $\tan \delta$ 의 전압 \rightarrow 전류 위상측정 원리

트리에 의한 두 가지 가변성분, 즉 가변 커패시턴스와 가변 저항성분의 변화량을 측정하는 것에서 출발한다. 케이블의 기본구조는 최외각에 심선과 중성선으로 구성된 전극과 그 전극 사이에 원통형 구조의 XLPE 유전체로 채워진 실린더형 커패시터로 대체하여 해석할 수 있으며 수트리에 의한 정전용량성분과 저항성분의 변화된 값을 측정하는 것이 수트리의 정도를 가늠할 수 있는 순수한 이론적인 접근법이다.

여기서 정전용량성분과 저항성분의 변화량, 즉 유전손실율(dielectric dissipation factor)를 측정하는 방법이 $\tan \delta$ 측정법이다. 이때 $\tan \delta$ 를 측정하기 위하여 사용하는 시험전원의 주파수로 0.1Hz의 저주파를 사용하기 때문에 VLF(Very Low Frequency)라는 용어를 사용한다. VLF 전원공급 시 케이블의 커패시턴스에 인해 전압보다 위상이 90° 앞서는 진상전류가 발생하게 된다. 그러나 실제의 케이블에 있어서, 특히 수트리와 같은 열화가 진전된 케이블의 경우 저항성분이 존재하게 된다. 결국 케이블은 저항성분과 커패시턴스가 혼합된 저항성분을 갖게 되며 저항성분에 의한 실부하 전류 IR, 커패시턴스에 의한 허부하 전류 IC가 발생하기 때문에 전압과의 위상차는 90° 가 아닌 IC와 IR의 벡터합에 따른 위상차만큼 변하게 된다. 즉 VLF $\tan \delta$ 진단장치라는 것은 부하에 의한 위상변화를 측정하는 계측기

를 의미한다.

$\tan \delta$ 측정을 위하여 사용하는 시험전압으로 VLF를 사용하는 이유는 특고압 또는 초고압 케이블에 상용주파 시험법을 적용하기 위해서는 케이블 길이에 상응 하는 정전용량을 감당할 수 있는 교류전원장치가 필요하지만 상용주파 시험장치는 현장에서 사용하기에 용량이나 크기가 매우 제한적이기 때문에 이를 대체하기 위해 용량성 리액턴스[capacitive reactance, $X_C=1/(2\pi fC)$]의 주파수 f 를 0.1~0.01Hz의 초저주파로 대체하여 X_c 를 최대화함으로써 충전 전류를 최소화할 수 있기 때문이다.

3. 전망

설비진단의 목적은 전력설비의 노화에 따른 고장시기를 예측하여 적정시기에 교체하는 것을 그 목적으로 한다. 따라서 설비의 진단은 열화인자의 정확한 계측과 계측값에 따라 설비의 상태를 정확히 판정할 수 있는 판정기준이 바탕이 되어야 한다. 또한 판정기준은 축적된 열화인자의 계측데이터를 통계적으로 분석하여 판정기준의 정확도를 확률적으로 높여야 한다.

현장에서 사용되는 설비는 다양한 환경적 여건에 영향을 받기 때문에 열화인자의 실험적 결과나 이론

적 추론이 적절히 적용되지 않을 수 있다. 그렇기 때문에 한전은 약 3년간에 걸쳐 축적된 측정데이터를 통계적으로 분석하여 측정값에 대한 판정기준을 수립하여 적용하고 있으며, 이러한 판정기준의 정확도를 높이기 위하여 지속적으로 노력하고 있으며 앞으로도 지속적인 개선이 이루어질 것이다.

향후 이러한 판정기준의 정확도가 향상되고, 충분한 데이터가 축적되면 이러한 Big Data를 활용하여 기존의 GIS기반의 설비도와 연계하여 특정 영역 및 회선의 고장밀도를 계산할 수 있으며 적절하게 산정

된 우선 순위에 따라 인력, 장비, 시간 등의 투입자원을 효과적으로 분배하고 관리할 수 있을 것이다.

또 기자재 종류별, 자원별 설비의 잔존수명을 예측하여 고장확률과 정전에 따른 사회적 손실비용을 비교하여 최적의 기자재 교체시기를 결정할 수 있게 될 것이다. 앞으로 한전이 경제적 설비운동을 하기 위해 설비진단을 통한 기자재 수명의 사전예측은 필수적이며, 한전은 향후 지속적인 설비진단 및 분석능력을 향상시키기 위해 최선의 노력을 다해 나갈 것이다. 