

가공배전설비 열화진단기법 현장 적용성 평가

최선규, 이재봉, 이병성, 박철배
한전 전력연구원

Evaluating the Applicability of diagnosis methods for aging at overhead systems

Sun-Kyu Choi, Jae-Bong Lee, Byung-Sung Lee, Chul-Bae Park
Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

Abstract - 한전 배전계통에서 적용되고 있는 가공설비 열화진단 장비의 특성 및 진단사례를 고찰하고, 측정 결과의 신뢰도 향상 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 열화설비 진단기법 및 신뢰도 향상 방안은 연구개발 과제로 채택되어 진행예정이며, 향후 실험실 모의시험 및 실증시험을 통해 제시된 이론을 검증하고 체계화 하고자 한다.

1. 서 론

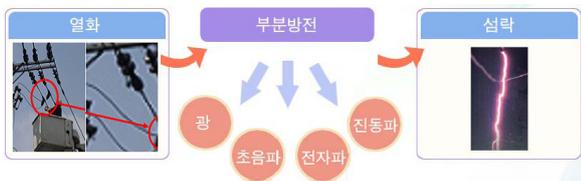
배전설비 고장으로 인한 정전시간 및 고장건수는 2000년도까지는 급격히 감소하는 추세였으나, 최근 몇 년간의 추이는 감소율이 둔화되고 있다. 이러한 현상은 정전시간의 감소 요인이 기차재 성능향상, 설비운영의 신뢰성·효율성 극대화보다 활선 및 무정전 공법 확대 적용, 배전자동화 시스템 도입 등을 적극 추진한 결과이다. 따라서, 정전시간, 고장건수 감소와 설비운영 신뢰도 향상을 위해서는 과학적인 설비진단 방법을 적용하여 경년열화에 의해 수명이 가까워진 설비의 잔여 수명을 추정하여 고장을 미연에 방지함과 아울러 고가의 설비는 확실한 예방보전에 의하여 고장률을 감소시켜 보다 장수명화 하여야 한다.[1]

본 논문에서는 국내외 전력회사에서 활용되고 있는 가공 배전설비 진단 장치의 현장 진단 사례와 결과를 통해 실제통에 적용 가능성 및 적용시 고려사항에 대해 논하고자 한다.

2. 배전설비 열화진단 기술

2.1 개요

현장에서 활용되고 있는 진단장비는 피뢰기 누설전류 측정장치, 애자 분담전압 측정 장치가 있으나 주상에서 개별 측정(접촉식)을 하여야 하므로 시간 소요 및 위험도가 높다. 따라서, 효율적인 배전선로 감시가 이루어지기 위해서는 배전선로를 기동성 있게 순시하면서 열화개소를 색출할 수 있는 진단기법(장치)의 확보가 무엇보다 중요하다. 앞서 언급한 바와 같이 활선 상태에서 접촉식으로 설비를 진단하는 것은 고비용 및 위험도가 높기 때문에 원격거리 활선상태에서 배전설비의 열화개소 색출을 할 수 있는 진단기법 및 장치가 무엇보다 중요하며, 최근 개발되는 기술은 부분방전에 의해 발생하는 전자파, 음파, 광, 자외선 등의 진단신호를 효율적으로 측정할 수 있도록 발전하고 있다.

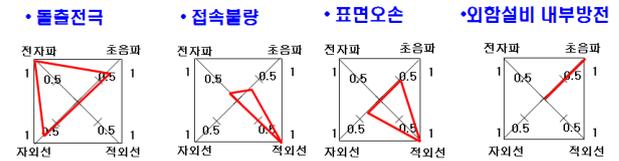


〈그림 1〉 부분방전 진행 단계

〈그림 1〉과 같이 고전압 설비에서 열화가 진행되면 부분방전이 발생되며, 이때 광, 초음파, 전자파, 자외선 등을 발생시키기 때문에 이러한 신호를 검출할 수 있는 장비개발 기술이 발전되고 있다. 그러나 고전압 환경에서 설비를 진단할 때 가장 어려운 부분은 각 진단신호들이 환경에 따라 특성이 상이하여 적용범위를 정립할 수 없다는 것이다. 전력설비가 열화되면 부분방전의 단계를 거쳐 최종 절연과파 또는 섭락에 이르게 되며, 부분방전은 도전성 파티클, 충전부의 접촉불량, 돌출전극, 표면오손에 의한 표면방전, 고체절연물 내부 방전 등 다양한 형태로 발생하고 있어 이상신호 검출을 위해서는 기차재의 결합유형에 따른 진단신호 분석이 필요하다.

부분방전 검출을 위한 자외선 카메라는 이미 개발되어 상용품이 판매되고 있으나 가격이 고가이며, 현장 활용성 연구를 거쳐 선택적 기능과 국산화를 통한 경제성 확보가 요구된다.

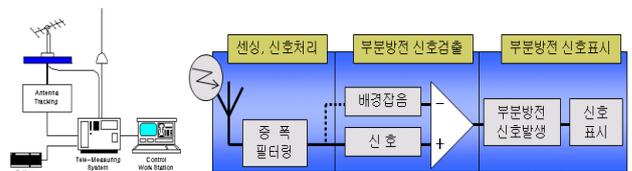
방전음 측정의 경우 타 진단신호 보다 환경소음에 의한 노이즈가 심해 방전신호를 구별하는 것이 어려우나, 노이즈 필터링 연구가 활발하게 이루어지고 있어 앞으로 적용 가능성이 있다. 초음파와 신호측정의 경우 불량애자 검출을 위해 연구된 바가 있다. 애자의 절연저항을 기준으로 초음파와 신호를 분석하였으나 신호강도가 미약하여 검출이 유효하지 않았다. 지금까지 열거한 내용을 진단신호별, 기법별로 적용성 정도를 <그림 2>와 같이 나타내었다.



〈그림 2〉 설비 결합별 신호 측정용 진단기법별 적용성

접촉불량의 경우 국부적 열이 발생되므로 적외선 열화상 장비에 의한 측정이 용이하며, 이와 병행하여 초음파와 신호를 측정하여 신뢰성을 확보할 수 있다.

배전설비의 안정적인 운영을 위해서는 언급한 바와 같이 이상현상에 따른 신호를 구분하여 신호 측정이 가능한 진단장비 중 적용성이 높은 장비의 측정값에 가중치를 부여하고 적용성이 낮은 장비의 측정값도 반영되도록 하여 측정결과와 신뢰성을 확보하여야 한다. 또한 효율적인 운영을 위해서는 먼저, 진단장비를 이용하여 신속하게 열화개소를 색출하고, 열화개소에 한하여 기법 정밀검증을 실시하여 유지보수를 실시하는 것이 경제적이므로 진단시스템(이상신호별 측정장치 + 설비의 열화정도 분석 기법 + 원격 데이터 수집 및 처리 + 측정결과 분석 등)의 개발이 필요하며, 개발된 진단시스템은 운영자의 숙련도, 이해도 등에 좌우될 수 있으므로 진단절차, 방법을 확립하여 점검절차에 따라 이루어질 수 있도록 하여야 한다. 일반적인 진단장비의 진단신호 처리과정은 <그림 3>과 같다.



〈그림 3〉 신호 수집 및 처리 과정

2.2 설비열화 진단장비의 최근 개발 동향

최근 코로나 초기 방전현상에서 발생되는 자외선을 검출하여 영상으로 보여주는 특징이 있어 기존 초음파에 의한 검출 장비에 비해 정확한 방전위치를 검출할 수 있게 되었다. 자외선 카메라는 앞에서 언급하였 듯이 전기에너지의 방전 현상을 초기에 검출할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 장비를 생산하는 곳은 세계적으로 미국, 이스라엘, 남아프리카공화국 등이 있다. 미국의 경우 일본의 소니(SONY)사와 기술 제휴된 Edmund사에서 출시되었으며, 자외선 파장범위가 300~420[nm]로 되어 있다. 또한 남아프리카공화국에서 생산되는 자외선 카메라는 자외선 검출범위가 240~280[nm]로 눈에 보이지 않는 자외선 영역의 검출이 가능하며, CSIR에서 생산되는 자외선 카메라중 CoroCam 504와 Multi Cam의 경우 자외선 및 적외선 이미지의 동시 검출이 가능한 것으로 되어 있으나, 실제 전력계통에 적용되었을 경우 적외선 열화상으로의 방사율에 따른 오차 등을 해결해야 하는 문제가 있다.

이스라엘의 경우 DayCor II 모델의 자외선 카메라가 Ofil사에서 제작되어 코로나 및 아크를 탐지할 수 있으며, EPRI에 의해 응용 연구 및 실전 테스트가 진행되어 지상 송전선의 코로나 및 아크검사 가이드가 제공되고 있다.[2]

2.3 한전 배전선로에 적용된 진단장비별 특성 평가

서론에서 언급한 바와 같이 한전에서는 고장시간(건수) 감소를 위하여 신기술·공법 개발을 위한 연구과제의 지원 및 주기적 설비점검을 위해 매년 1,200억원의 예산을 사용하고 있다. 그러나, 설비점검 인력 및 예산부족으로 특정선로 증상의 점검이 이루어지고 있으며, 점검 주기 또한 예산의 규모에 따라 불규칙하게 시행되어 실질적인 예방점검이 어려운 실정이다. 따라서, 신속하고 효율적인 설비점검 방법의 도입이 절실한 상황이다.

구분	순시검사	활선 기별점검	열화상 진단
검사방법	육안검사	정밀검사 (측정장비 사용)	열적상태 진단 (온도사진 촬영)
검사특성	단순 육안검사로 불량 적출을 지화	점검에 많은 비용 및 시간이 소요	불량적출 가능설비 한정적

☞ 효율적 불량설비 순시 및 적출이 가능한 신개념 진단장비 도입 필요

〈그림 4〉 현행 한전 배전선로 진단방식

또한, 배전선로 운영 환경을 감안할 때 모든 설비를 원격에서 진단하는 것은 현실적으로 어려운 문제이다. 그 이유는 변압기의 경우 내부 권선 온도가 열화의 주요 지표이지만 열화상 장비로 외함의 온도를 측정하기 때문에 내부 온도와 오차가 크고, 과부하 개소의 경우 시간대 별로 운전 조건이 다양하므로 지속적인 감시가 필요한 설비이다. 원격 진단장비의 효율적 운영을 위해 고장건수의 큰 비중을 차지하는 애자류, 전선류, 피뢰설비 및 접속개소로 한정하여 진단하는 것이 효과적이다. 〈그림 5〉은 '05년~'07년 동안 발생된 정전발생 원인별 현황이다.



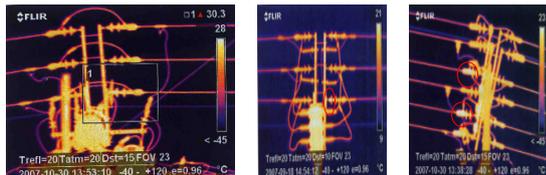
〈그림 5〉 '05~'07년 정전발생 원인별 현황

앞서 언급한 여러가지 배전선로 설비진단 환경을 고려하여 현재 한전에서 적용하고 있는 진단 장비의 특성, 진단사례 및 향후 연구개발 방향에 대하여 기술하고자 한다.

2.3.1 적외선 열화상 측정 장비

전력설비의 누설전류, 과부하, 상 불평형 등으로 국부적 과열이 발생될 경우 적외선 열화상 장비를 이용하여 진단 가능하며, 한전 사업소, 발전소, 일반 공장 등에서 보편적으로 사용하고 있다. 그러나, 적외선 열화상 장비의 특성상 설비 외부 온도를 표시하므로, 변압기등 내부 온도를 감시해야 하는 설비에 대해서는 부적합하다. 이러한 설비는 내부에 센서를 부착하여 상시 감시하는 것이 효과적이다.[3]

따라서, 적외선 열화상 장비를 현장에서 운영하기 위해서는 설비 표면 온도를 측정하고, 상대적인 온도차를 고려하여 열화개소를 색출하는 기법으로 사용되어야 하며, 이때 측정시의 기상조건 자료와 측정대상 위치의 실제 온도 자료 및 진단 장비의 측정결과 등을 종합적으로 검토하여 환경변화에 따른 측정값 보정이 반드시 필요하다. 아울러 실 선로의 환경요인 중 측정자의 위치 및 설비의 측정 부분의 상태 또한 고려되어야 한다. 다시 말해 원격, 지상에서 측정자의 일반적인 위치는 설비의 아래 부분 또는 측면을 측정할 수 있는 위치이므로 복사에너지의 일사량이 적은 부분일 것이므로 이러한 측정 위치, 설비의 측정 부분에 따른 보정값도 마련되어야 한다. 〈그림 6〉에서 알 수 있듯이 설비의 상대적 과열개소 검출 등에 유용하다.

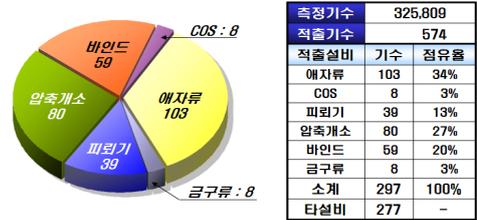


〈그림 6〉 적외선 열화상 측정 결과

2.3.2 고주파 측정 장비

전력설비에서 열화가 진행되어 절연과파나 변형이 발생되면 코로나 방전 현상이 나타나게 되고, 절연물의 침투 부분에서 방전신호가 강하게 발생된다. 방전신호는 전자의 이온화 과정에서 진동되어 주파수 형태로 나타난다. 고주파 진단은 우리나라에서 관리되는 주파수 대역이외

의 대역에서 발생하는 주파수를 측정하여 특정 주파수 대역을 전력설비 결함에 의한 원인으로 추정한다. 한전 사업소의 직무제안으로 현장에서 측정된 결과를 분석하여 통계에 의한 전력설비 결함에 의해 발생하는 주파수 대역은 130MHz~250MHz의 -40dBm~-90dBm 신호 크기를 제시하였다. 〈그림 7〉은 제시한 대역에서 검출된 결과를 나타내었다.



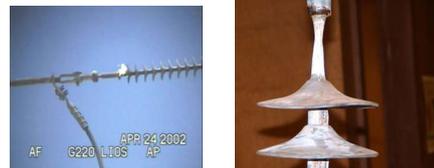
〈그림 7〉 한전사업소 현장 진단 결과

〈그림 7〉의 진단사례에 제시된 바와 같이 타설비에서 발생된 신호로 추정되는 비율이 약 49%임을 감안할 때, 전력설비 이외에 운영 중인 타 설비가 정상적인 동작중에는 검출하고자 하는 대역의 주파수가 발생되지 않지만 결함 또는 이상현상으로 발생할 수 있는 여지가 있으며, CATV(109~450MHz)등의 주파수 대역을 고려하여 추후에 반드시 측정오차 원인을 검증하여 측정의 신뢰도를 향상 시켜야 한다.

인근한 바와 같이 측정시의 오차 원인을 배제하여 측정 신뢰도를 높임과 동시에 120Hz 대역의 주파수 변화를 관찰할 필요가 있다. 코로나 방전은 주파수 사이클 중 Negative Peak에서 그 값이 Positive Peak 일때 보다 크게 나타나기 때문에 상용주파수 60Hz의 2배 주파수 변화를 측정하는 것이 전력설비 결함 원인으로 추정할 수 있는 확률을 높일 수 있다.

2.3.3 코로나 측정 장비

코로나 방전은 280nm~405nm 분광범위의 방사가 이루어지기 때문에 대부분 인간이 볼 수 있는 자외선 영역(400nm~450nm)의 파장보다 짧고, 태양복사로 인한 간섭으로 주간에는 측정이 곤란하다. 최근 개발된 장비는 Solar Blind 필터를 채택하여 주간에 촬영이 가능토록 개발되었으며, 송변전 설비에서는 검출이 가능하지만, 배전선로에서는 코로나 신호가 미약하여 검출이 어렵다. 실제로 습도가 높고 흐린날(또는 야간)에 측정할 경우 극히 드물게 발견할 수 있다. 따라서 본 장비의 적용성을 높이기 위해서는 기후적인 여건을 고려해야 하며, 배전선로에서 발생하는 코로나 신호를 좀더 증폭시킬수 있는 방안 모색이 필요하다.



〈그림 8〉 코로나 현장 측정과 열화설비 검출 사례

3. 결 론

앞서 국내의 여러가지 진단기법 및 장치의 현황에서 알 수 있듯이, 국외는 다양한 진단기법을 적용한 진단 장치들이 개발되어 있으나 국내의 경우 배전선로용 진단 장치 운영사례가 없는 실정이며, 최근 배전선로 진단을 위한 진단기 도입을 검토하고 있으나, 배전분야 응용을 위해서는 현장분석, 활용기준이 정립되지 못하고 있다.

또한, 진단기법들에 대한 정확한 이해 없이 기술도입을 시도하고 있어 진단 운영효율 확보가 어려운 상태이며, 고장유형별 검출범위, 현장의 고장유형 분석 사례를 충분히 확보하고 각 진단 장치의 상호보완 운영을 위한 방안 강구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "배전설비 점검 및 노후교체 기준 제정 연구", 연구보고서, 2007
- [2] 김중민, 유재익, 김세동, "코로나방전 탐지기술과 수변전설비의 검출 사례 분석", 조명·전기설비학회지, Vol.21, No.5, 56~62p, 2007
- [3] 한국전력공사, "수상변압기 수명평가 및 연장에 관한 연구", 연구보고서, 2007