

## 비접촉식 진단 장비를 이용한 가공 배전선로 진단방법 최적화 연구

이병성\*, 박용업, 최선규, 이영익\*\*  
 한국전력공사 전력연구원\*, 한국전력공사 배전전략실\*\*

### Optimal Diagnosis of Overhead Distribution line with Non-contacted Diagnosis Equipments

Byung-sung Lee\*, Yong-up Park, Sun-kyu Choi, Young-ik Lee\*\*  
 KEPCO Rirearch Institute\*, KEPCO\*\*

**Abstract** - 배전선로 정전고장 예방활동으로 순시/점검은 전력회사 기준에 따라 매년 시행하고 있다. 전력공급 장애 요소를 사전에 제거하거나 불량 기자재를 적출하여 정전을 예방하고 있다. 매년 수 천 건의 설비 불량개소를 개선하여 전력공급 품질 목표를 유지하고 있다. 설비가 방대하고 복잡, 다양해져 시간과 비용이 많이 소요되는 인력점검 보다 진단 장비 사용이 증가하고 있다. 설비운영방법에 있어서도 경년에 따른 교체보다 설비 노후도를 평가하여 교체하도록 하고 있어, 현장에서 설비의 상태 판단이 중요하다. 따라서 제한된 자원으로 최대의 효과를 얻기 위해 과학적인 장비를 이용한 진단방법이 도입되었으며, 본 연구에서는 국내 가공 배전선로 진단에 사용하고 있는 비접촉식 진단장비의 현장 적용시 검출특성과 상태 판정시 고려해야할 기술적 사항에 대한 결과 얻을 수 있었다.

리성이 가장 중요하게 고려하고 있다. 선로가 복잡할 경우 육안으로 점검하는데 장시간 소요되며, 단위 시간당 진단량이 많지 않아 다수의 인력소요가 예상되지만 불량 검출 확률이 높은 편이다. 최근에는 편리성과 점검 속도를 높이기 위해 고배율 비디오 카메라를 이용하는 방법도 개발되었다. 배전전주의 높이나 절연물 손상 정도로 볼 때 불량 검출에는 최소 15배 이상의 배율을 갖는 것이 좋다.



〈그림 1〉 광학 점검 장비 사례

## 1. 서 론

전력의존도가 증가에 따라 안정적 전력공급 대한 수용가 요구 수준이 높아지고 있으며, 전력공급 지장에 따른 손실비용도 증가하게 되었다. 전력설비는 20년 전에 비해 규모가 2배로 되었으며, 노후 설비 증가로 인한 잠재적인 고장 요인이 늘었다. 따라서 전력설비 정전을 줄이는데 소요되는 비용이 증가하게 되므로 배전선로 순시 및 검사 효율을 높여 경제적 불량설비 적출 기술개발이 필요하다.

설비 점검에 있어서 과거에는 검출 정확성이나 경제적인 문제로 진단 장비 사용보다는 육안점검에 의존하였다. 육안점검의 경우 검출 정확도는 높으나, 내부에 잠재된 불량은 검출하기 어렵고 장시간 소요되기 때문에 고장예방 활동에는 한계가 있다. 최근에 설비 자동화 지능화에 따라 센싱 기술 및 신호 처리 기술의 발전으로 저가형 진단장비가 개발되어 활용도가 높아졌다. 진단 장비를 활용할 경우 고장정후를 조기에 검출할 수 있고, 단시간에 많은 설비를 점검할 수 있는 장점이 있어 오히려 경제적이 될 수 있다.

전력회사 입장에서는 잠재적인 문제를 찾아내기 위해 선로를 점검하고 고장발생 전에 유지보수 활동을 행해야 하지만, 전력설비의 신뢰 수준을 어느 정도로 유지하고 그러기 위해 어느 정도까지 점검을 행하여야 하는지는 결정하는 것은 어려운 문제이다. 적정 신뢰수준을 가정하고 점검에 소요되는 비용과 진단장비의 신뢰성 등을 고려하여 최적점을 찾아야 한다.

최근에 개발된 지능형 전력기는 실시간으로 전력을 감시하면서 다양한 현장 정보를 취득, 분석하여 이상 발생시 신속하게 대처할 수 있는 기능을 가지고 있다. 배전선로가 스마트 그리드화 됨에 따라 자가진단형의 전력기기가 핵심이 되고 있으며, 전력기기 진단용 융복합 센서 기술이 급속히 발전하고 있다.

본 연구에서는 가공 배전선로 진단을 위해 국내에서 사용하고 있는 적외선, 고주파, 초음파, 자외선 등의 신호를 검출하는 비접촉식 진단장비의 현장 적용 특성을 분석하고, 불량 판정에 있어서 고려해야할 사항에 대해 연구하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 배전설비 점검 방법

국내외에서 배전선로 점검은 일정 주기마다 행하고 있으며, 주로 도로나 차량을 이용한 육안점검 방법에 의존하고 있지만 일부에서는 진단 장비를 이용한 점검이 이루어지고 있다.

#### 2.1.1 육안점검

육안점검은 망원경과 같은 광학 장비를 이용하여 지상에서 자기제 애자의 균열이나 파손, 폴리머애자의 침식이나 트래킹, 바인드 및 절연전선 손상 등 외관상 이상을 검출하는 것이다. 현장에서는 장비에 접안하여 장시간 사용해야 하므로 광학 장비 선택에 있어서 휴대성과 조작 편

### 2.1.2 비접촉식 진단장비

진단장비의 검출 효율을 고려하여야 하지만, 육안 점검에 비해 내부 결함 검출이 가능하고 진단속도가 빠르기 때문에 진단 장비를 활용한 배전설비 점검 방법은 보다 효과적이다. 배전설비 손상 또는 열화로 나타나는 열, 전자파, 진동과 등을 원거리에서 검출하는 비접촉식 진단장비는 적외선 검출장비, 고주파 검출장비, 초음파 검출장비 등이 개발되었으며, 이를 최적으로 활용할 경우 경제적으로 고장예방을 할 수 있다. 차량 이동 진단이 가능하므로 설비 점검시간이 짧아 선로 점검비용이 감소된다.

## 2.2 비접촉 진단장비의 검출 특성

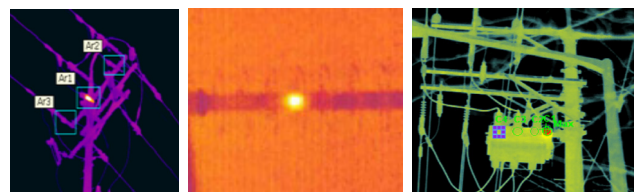
### 2.2.1 적외선 검출

설비 불량에 의한 발열이 있는 경우 적외선 검출이 효과적이지만, 옥외에서 환경의 영향을 받아 검출 온도가 실제와 다르게 나타나므로 반드시 환경 영향을 반영하고, 주변 동일 대상과 비교하여 판단하여야 오진단을 줄일 수 있다. 그림 2는 피뢰기, 폴리머애자, 가스개폐기 등 가공 배전설비의 열화상 검출 사례를 나타낸 것이다.

고장 통계에 따르면 피뢰기 고장은 내부 모듈이나 계면에서의 절연과 피뢰기 대부분이므로 발열 검출 방법이 효과적이다. 누설전류에 의한 발열은 거의 없기 때문에 주변 설비와 비교하여 약간의 발열이 내부 이상으로 추정할 수 있지만, 환경적 영향에 의해 온도검출 오차를 감안하여 3~6 (°C) 이상 발열을 불량으로 판정하면 오검출 확률을 줄일 수 있다.

자기제 현수애자 결합에 의한 발열 검출이 가능하나, 절연물 표면의 도전성 또는 반도체성 결합이 있을 경우 코로나 방전과 함께 작은 온도 상승 나타나기 때문에 작은 온도 상승이 있다고 반드시 불량으로 판단하지 않아야 한다.

폴리머애자 내부 결합을 적외선 카메라로 진단할 경우 결합 위치, 결합 크기에 따라 온도상승의 차이는 크지 않지만, 발열 위치는 확실히 구분할 수 있기 때문에 내부적인 결합을 효과적으로 진단할 수 있다. 이러한 경우는 UV 및 코로나 신호가 작기 때문에 이를 검출하는 진단장비로 찾아내는데 어려움이 있다.



〈그림 2〉 배전설비 열화상 검출 사례

### 2.2.2 자외선 검출

자외선 진단장비는 자외선 파장의 크기만 검출하는 방식과 화상으로

검출하는 방식의 것이 있다. 소형, 경량으로 사용은 간편하나, 외부잡음과 신호 구분이 뚜렷하지 않아 보다 정확한 불량위치 및 판정을 위해 현장 경험이 필요하다. 환경 영향에 대한 보정과 보다 많은 현장검험 자료를 바탕으로 불량 판단기준을 설정하여야 한다. 그림 3은 자외선 검출 카메라를 이용하여 LP애자의 코로나를 검출한 영상이다. 애자의 균열이나 절연전선 침식 부분에서의 코로나를 검출이 나타났으나, 환경적인 영향으로 정상 설비에서 발생하는 코로나도 검출되기 때문에 불량 판단이 어렵다. 현장 경험에 따라라면 상대적으로 자기제 현수애자에서 발생하는 신호 검출이 많았다.



〈그림 3〉 자외선 검출 사례

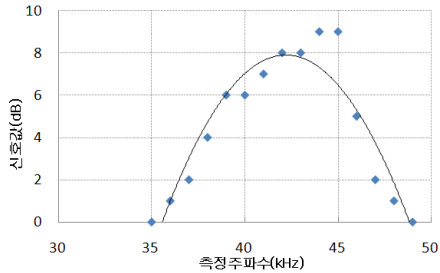
### 2.2.3 초음파 검출

초음파 검출장비는 전력설비로부터 공기중으로 전달되는 초음파 신호를 검출하는 것으로 거리에 따라 감쇠가 크고, 방향에 따라 검출 신호크기가 다르게 나타난다. 실험실 측정에서 자기제 현수애자의 경우 동일거리 수직방향에 비해 애자런 방향에서 측정하면 검출 신호 크기가 30 % 정도로 낮아졌다. 폴리머 절연물 내부, 즉 갓이나 슈드 안쪽에서 발생한 방전은 폴리머 재질 주변에서 신호 감쇠가 있어 거의 검출하지 못하였다. 이 경우 열화상 카메라로 미세한 발열이 검출되었다.

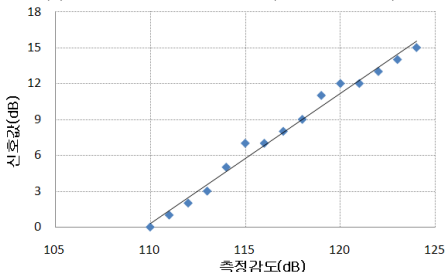
현장 진단 결과를 육안으로 쉽게 관찰되는 자기제 애자의 갓 파손은 초음파 신호가 검출되지 않는 경우가 많았다. 또한 외관상 이상이 없는 변압기, 개폐기의 경우 초음파 신호가 검출되는 경우가 많았다.

초음파 진단 장비는 동일한 신호에 대해서 그림 4와 같이 측정감도 및 주파수 설정에 따라 검출값에 상당한 차이가 발생하기 때문에 정확한 판단을 위해 설정값을 고정해야 한다. 센서의 특성 때문에 측정주파수가 증가할수록 신호값이 증가하다가 특정주파수에서 피크를 보이고 감소하는 특성을 보인다. 또한 측정주파수를 40 kHz로 고정하고 측정감도를 변경하였을 때 감도와 함께 측정값도 증가한다. 진단자는 장비의 설정값을 기록하고, 가급적 동일한 설정값을 유지하는 것이 비교 판단을 위해 좋다.

진단 시간과 점검 전주 수량은 도심에서 시간당 100~110분, 외곽지역에서 150~250분 정도 점검이 가능한 것으로 사업소 여건에 따라 시간당 점검 가능한 전주 수량은 다르게 나타났다. 초음파 신호는 거리, 습도, 온도, 풍속에 영향을 받기 때문에 환경조건 기록이 중요하다.



(a) 주파수에 따른 신호값(감도 116 dB)



(b) 감도에 따른 신호값(주파수 40 kHz)

〈그림 3〉 초음파 검출장비의 특성 측정

### 2.3 진단정보 관리

현장에서 설비의 결함을 찾기 위해 진단장비로 정확히 진단하는 것도 중요하지만, 진단 장비 측정 정보를 이용하여 정확한 상태 판정도 중요하다. 진단 판정 정확도를 높이기 위해 현장 진단 데이터 축적, 통계 분석, 실험실 검증, 판정기준 보정 등의 과정을 지속적으로 수행하여야 한다.

다. 따라서 환경 정보가 포함된 진단 결과를 정확히 기록하고, 통계적 분석하여 상태 판정기준에 피드백하는 것이 중요하다.

진단 정보관리에 있어서 종합표와 불량 검출표의 두 가지로 기록되어야 한다. 종합표는 진단결과를 종합하는 것으로 전체 진단량과 진단결과를 파악할 수 있도록 중요기기(전주본수, 변압기, 개폐기, 리클로저)는 가급적 세분하여 기록하고, 불량 검출표는 불량 기자재에 대한 상세 정보와 검증 시험결과가 수록되어야 한다.

### 3. 결 론

배전설비 결합부에서 발생하는 이상 신호의 크기 및 파형은 환경에 영향을 받아 다르게 나타나며, 이들 전자파 또는 초음파는 거리, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 방향 등에 영향을 받아 감쇠되므로 진단장비에서 계속된 신호의 크기 및 파형으로 양부를 판단하는 것은 쉽지 않다. 따라서 측정당시 환경 영향을 보정하고 주변 설비와 비교한 다음 판단하고, 그 결과를 축적하여야 정확한 판단이 가능해진다. 다음은 진단 적출율을 높이고 오진단을 줄이기 위해 현장 진단자가 숙지해야 할 사항들이다.

#### 가. 측정신호와 환경 잡음의 구분

배전설비에서 나오는 이상 신호가 주변 환경에서도 나올 수 있으므로 진단장비로 주변 신호를 수시로 체크하여야 한다. 도심에서 자동차 점화장치, 방전등, 아르용접기 등과 같이 방전현상을 이용하는 설비에서 전자파 및 초음파가 발생하며, 설비에서 반사된 직사광선은 자외선이 발생되거나 열화상 검출장비에 영향을 준다. 진단자는 진단장비에 따라 환경 영향이 최소가 되도록 위치, 방향, 시간을 결정하여야 한다.

#### 나. 진단장비의 검출신호와 육안점검을 병행하여 판정

현장 측정결과를 분석하면 이상 신호가 검출된 기자재는 대부분 육안 확인이 가능한 결함을 가지고 있었다. 따라서 이상 신호가 검출되면 육안(또는 광학생안경)으로 확인하여 이상이 발견되지 않는 경우는 근접해서 다시 진단한 다음 교체여부를 결정하는 것이 오진단을 줄여 경제적이다. 근접 진단할 경우 주변의 동일 설비의 신호와 비교한다.

#### 다. 양호한 기상 환경에서 진단 수행

불량 전력설비의 적외선, 초음파 및 전자파는 환경조건에 따라 이상 신호의 크기 및 빈도가 다르게 나타나기 때문에 유사한 환경조건에서 진단하여야 판단이 용이하다. 환경 영향을 배제하기 위해 진단 수행하는 맑은 날, 저습도, 풍속이 느린 조건에서 진단한다. 기상상태가 좋지 않을 경우 정상 설비에서도 코로나 방전이 발생할 수 있기 때문에 오진단 가능성이 있다. 습도 70~75 % 이하에서 진단하는 것이 적절하다.

#### 라. 열화상 진단은 직사광선을 피하고 고습 환경에서 검출

변압기를 제외하고 전력설비는 거의 발열되지 않아야 하므로 절연물 결함이 발열로 나타나는 경우는 고습도에서 확실하게 되므로 적외선 카메라를 이용한 진단은 높은 습도환경에서 수행할 경우 효과적으로 불량을 검출할 수 있다. 직사광선에 의한 영향을 배제하기 위해 주간 보다는 야간에 진단하는 것이 정확하다. 다만 접촉부 불량은 부하전류에 영향을 받기 때문에 부하 데이터를 사전에 확보하는 것이 필요하다.

#### 마. 진단 결과의 보정

열화상 측정한 온도는 주위온도, 습도, 강우, 풍속, 태양광, 대기상태, 부하전류 등의 영향을 받아 오차가 발생한다. 온도편차로 열화를 판단하기 때문에 발열부위의 정확한 온도측정이 중요하므로 풍속이나 부하전류와 같은 환경요인은 보정 계산식으로 보정하여야 한다. 초음파의 경우 거리에 따라 신호감쇠가 크기 때문에 가급적 일정거리에서 진단하고 진단장비의 거리 특성을 반영하여 보정하고, 직진성이 있기 때문에 장애물이 있는 경우는 피하고, 여러 방향에서 검출하여 판단하는 것이 좋다.

#### 바. 폴리머애자 결합 신호 검출

폴리머애자에서의 코로나를 육안으로 관찰하면 과열점(Hot spot)에서 백색 가루가 존재하며, 백색 가루에서 코팅 조건이 지속되어 과열점이 발생한다. 적외선으로 검출할 수 있는 전류와 관련된 저항과 다르게 코로나는 거의 열을 발생하지 않는 전압으로 발생하기 때문에 코로나와 트래킹은 적외선으로 쉽게 검출할 수 없다. 이러한 경우 초음파 검출방법이 효과적이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "배전설비 점검 및 노후교체 기준 제정 연구", 연구보고서, 2007
- [2]Sunsin Han, Ru Hao, Tangmyung Lee, "Inspection of Insulators on High-Voltage Power Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 4, 2009
- [3]M. de Nigris, I. Gutman, A. Pignini, "Live-Line Maintenance of AC Overhead Lines Equipped with Non Ceramic Insulators (NCI)", 2010 IEEE
- [4]Bortoni, E.C.; Santos, L.; Bastos, G.S.; Souza, L.E.; Craveiro, M.A.C.; "Extracting Load Current Influence From Infrared Thermal Inspections". IEEE Trans. on Power Delivery. Digital Object Identifier 10.1109/TPWRD.2010. 2046068.