

지중 배전케이블 열화진단 기술

김 주 용

한국전력공사 전력연구원
배전기술센터 선임연구원

1. 국내 현황

대부분의 배전선로 지중화는 부하가 밀집된 지역에서 이루어지기 때문에 사고시 파급영향 또한 매우 크다. 그러므로 지중 배전선로는 건설 당시부터 고신뢰성을 보장할 수 있도록 시설하는 것이 필수적이며, 지속적인 유지관리를 통해 설비의 안정성을 확보하여야 한다. 또 지중 배전케이블은 송전케이블과는 달리 제조상의 결함이 많이 존재할 수 있으며, 케이블이 운전되는 환경 또한 송전케이블보다는 열악하기 때문에 고장발생 가능성이 높다.

최근 10년간 한국전력공사의 고장자료를 분석하면 배전케이블은 주로 포설후 10년이 경과하면서 열화고장이 발생하고 있는 것으로 나타나며, 주요열화의 요인은 수(水)트리와 제조결함에 의한 것이다.

이러한 수트리 열화 케이블의 검출을 위해 국내에서 현재까지 사용되던 방법은 직류 30kV를 30분간 인가하여 이때의 누설전류를 측정하는 방법이다. 하지만 DC 시험이 XLPE(Crosslinked Polyethylene) 절연케이블의 열화진단에는 효과가 불확실하고, 공간전하 형성 등으로 인해 건전한 절연체에 손상을 가한다는 연구결과가 발표되면서 대체시험법이 필요하게 되었다.

국외에서도 기존의 직류시험법을 대체하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며, 일부 상용화된 제품이 출시되어 현장적용 중에 있다.

현재 국내에서는 케이블과 접속재로 구성된 지중선로를 진단하기 위해서 독일로부터 완화전류 측정장치가 도입되어 시범사용 중에 있다.

이 장치는 전체 상태평가 장치이기 때문에 진단결과가 불량일 경우 불량원인이 케이블에 의해서인지 또는 접속재로 인한 것인지 구분할 수 없다. 그러므로 케이블 교체 이전에 접속부 및 단말의 상태를 파악하여 선로교

체를 판단해야 하는 문제가 있다. 그러므로 효과적인 케이블 진단을 위해서는 접속재 진단장치를 병행해서 사용해야 한다.

완화전류 측정장치는 국내 케이블과는 다른 케이블을 대상으로 개발되어 판정기준이 국내 케이블에 적합하지 못하여 많은 선로의 진단결과가 불량으로 판정되었다. 이에 현장진단을 통한 진단장치의 신뢰성 평가를 실시한 결과 판정기준을 국내에 적합하도록 수정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

현재까지의 현장 운전경험을 보면 이 장치는 미소전류를 측정하기 때문에 측정 중 노이즈에 매우 민감한 것으로 나타나며, 1개 상(Phase) 측정에 1시간 정도의 시간이 소요됨에 따라 지중선로가 밀집된 도심지 등에서의 진단에 어려움이 많은 것으로 보고되고 있다. 또한 정확한 진단을 위해서는 시험전에 측정대상 케이블을 수 시간 전에 선로에서 분리하여 케이블을 충분히 방전시켜야 하는 문제가 있다.

하지만 많은 현장적용 데이터를 확보하고 있으며, 국내에 적합하도록 교체기준을 수정하여 사용할 경우 효과적인 진단방법이 될 수 있을 것으로 보인다.

국내에서는 직류전압 3kV를 케이블에 인가하여 충전한 후 방전될 때 케이블의 전압감쇠를 측정하는 방법을 이용한 직류전압감쇠 측정장치를 개발하여 현장적용을 시도하였으나 진단신뢰도가 미흡한 것으로 나타나 보완 중에 있다.

2. 국외 기술동향

지중 배전케이블의 효과적인 유지보수를 위해서는 케이블의 현장진단이 무엇보다도 중요하다. 세계적으로 다수의 진단장치가 개발되고는 있으나 한가지 진단장치로 케이블의 상태를 정확히 평가하는 것은 불가능하며, 현재

까지 개발된 진단장치의 성능 또한 일부 국의 연구기관에서 비교시험 결과를 제시하고는 있지만 각 진단장치마다 장단점을 보유하고 있어 특정장치가 반드시 정확하다고 확신할 수는 없는 상태이다. 그러므로 국외에서는 각 전력회사의 실정에 맞는 진단장치를 개발하고 있으며 기 개발된 진단장치 중 현재 운영중인 지중배전선로에 적합한 진단장치를 선정하기 위해 실선로 및 실험실 시험을 통해 성능 비교를 실시하고 있는 상황이다.

지중 배전케이블은 전력회사의 중요하고 큰 부분이며 대부분의 전력회사에서 운전환경에 의한 수트리 열화 케이블로 인해 많은 예산을 투자하고 있다. 또 접속재에서의 부분방전 역시 수명을 단축시키는 요인으로 작용하고 있다. 케이블 포설시에는 최소한 30년의 수명을 기대하지만 많은 케이블이 그 이전에 고장을 일으키고 있다. 그러므로 케이블 교체프로그램을 이용하여 대규모 예산투자에 활용하고 있으며, 정확한 케이블의 잔여수명과 상태를 평가하여 교체 우선순위를 정함으로써 예산절감을 기하고 있다.

현재 세계적으로 전력설비의 잔여수명이나 열화 정도를 평가하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히 캐나다 전력협회에서는 케이블 열화진단을 그들의 최우선 고려대상으로 정하고 있다.

현재의 열화진단 기술은 파괴시험과 비파괴시험 그리고 비파괴와 활선진단이 조합된 형태로 나눌 수 있다. 절연파괴시험, 내전압시험을 포함한 파괴시험은 케이블의 국부적 취약점을 찾기 위해 사용된다. 그러나 이러한 방법들은 추가적인 손상을 유발하여 케이블의 수명을 저하시키게 된다. 비파괴시험은 이러한 손상을 방지하기 위한 것으로서 좀 더 논리적인 접근방법이다.

전통적인 비파괴시험은 유전정점, 손실각, 부분방전 시험법이다. 유전정점 시험법은 수분흡수뿐만 아니라 수분과 관련된 열화에 민감하다. 그러나 케이블 절연체의 전

체 상태를 평가하기 때문에 특별한 형태의 결함에 대해서는 민감하지 못하다. 부분방전 현상은 수트리카 수분이 포함된 보이드와는 상관성이 없으므로 케이블 절연체 진단에는 효과적이지 못할 수 있다.

그러나 케이블 접속재 내에서의 특정 문제개소를 검출하고 위치를 추정하는 것이 가능하고 이를 위해서는 부분방전 측정이 유일한 비파괴시험법이다. 그러므로 두개의 비파괴시험법을 조합하여 케이블을 진단하고 결함부위를 찾는 방법이 사용되고 있다.

상용주파수로 케이블을 현장시험하는 것은 진단장치 크기면에서 실용적이지 못하고 매우 많은 비용이 수반된다. 이러한 이유로 직류내전압 시험이 오일이나 가스로 절연된 케이블에 폭넓게 적용되었고 좋은 결과를 나타냈다. 하지만 이 방법은 고체절연 케이블에 적합하지 않은 것으로 밝혀지면서 초저주파시험이 내전압시험과 진단시험에 사용되기 시작하였다. 초저주파 시험은 케이블에 해가 덜하고 케이블 내의 큰 결함을 직류보다 더 효과적으로 검출하는 것으로 보고되고 있다.

비파괴 활선진단법은 20년에 걸쳐 일본에서 개발되었고 일부는 현장에서 좋은 결과를 보이고 있다. 그중 하나는 직류 누설전류측정으로서 가장 효과적인 것으로 보고하고 있다. 최근에 개발된 활선진단법은 절연체의 누설전류 중 3고조파를 측정하는 방법으로서 가능성이 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 이러한 방법들은 일본 케이블 시스템에 적합하게 고안되어 다중접지 계통에서 적용하기는 어려운 문제가 있다.

스웨덴에서는 주파수를 1.0~0.1Hz로 변화시키면서 절연재료에서 나타나는 유전응답을 이용하는 방법을 연구하고 있다. 유전응답법은 케이블에 연결된 다른 설비들의 손실전류를 구분해내고 접속재가 설치된 상태에서 사용될 수 있다. 이것은 케이블 양끝을 분리하지 않아도 됨을 의미하고 현재로서는 사선진단 기술이지만 향후 활선 진

단장치로 개선이 가능할 것으로 보인다.

현재까지 XLPE 케이블 절연진단을 위해 상용화된 장치로는 완화전류 측정장치, 회복전압 측정장치, 초저주파(0.1Hz) 유전정접 측정장치 등을 이용한 케이블의 전체적인 열화상태를 평가하는 Global Test 장치와 케이블의 국부적인 결함개소를 검출하는 부분방전시험장치로 구분되며, 이들에 대한 신뢰성 검증 및 현장적용 연구가 국외에서 활발하게 진행되고 있다. 또 부분방전 활선진단기법을 일부 전력회사에서 적용하고 있어 조만간 상용화 될 수 있을 것으로 보인다.

3. 맺음말

국내 배전선로는 5년 주기로 직류누설전류를 시험토록 되어 있으나 지중화율의 증가로 관리대상 선로가 급증하여 현실적인 모든 선로를 진단하는 것은 불가능한 상황이 되었다. 이에 따라 적용되는 열화진단기법에 따라 경제적이고 현실적인 진단기준을 만들 필요도 있다.

이를 위해 국내 케이블의 고장데이터를 고려한 새로운 유지보수 방안을 고려한다면, 운전년수에 따른 주기적 진단보다는 유지보수 비용절감을 위해 고장발생에 대한 재발방지 개념의 EBM(Event Based Maintenance) 개념과 사용년수, 운전환경 등을 고려하여 최초고장을 방지하는 CBM(Condition Based Maintenance) 개념을 적절히 조합한 유지보수 방안이 마련되어야 할 것이다. 또 진단기법도 전체상태 평가와 부분방전 시험의 적절한 교차적용을 통해 최소의 비용으로 고장방지효과를 얻을 수 있도록 하여야겠다.

한편 향후 과학적 유지보수를 통한 비용절감 및 고장방지의 중요성이 증대될 것 대비하여 국내에서도 국내 케이블에 적합한 진단장치 개발을 위한 노력을 계속하여야 할 것이다. ■