



지중 배전케이블 감시시스템 기술개발 동향



조 진 태
한전 전력연구원 연구원

1. 개요

최근 스마트그리드 체제로의 전환에 따라 실시간 감시 및 해석기술을 바탕으로 전력망 고장 예측과 신재생

에너지원 수용성을 확대할 수 있는 방향으로 배전계통의 구성 및 운영방식의 변경이 이루어지고 있다. 이와 같은 추세에 따라 배전기기도 실시간 감시를 위한 기능과 운전 방식으로 개선이 필요한 상황이다.

최근 열화진단센서를 배전기기 내부에 설치하고 기기의 상태를 상시 감시할 수 있는 지능형 배전기기가 개발되었다.

그러나 지중 배전케이블은 배전계통에서 중요한 배전 기기임에도 불구하고 아직까지 지능화 되지 못하고 있다. 현재까지 지중 배전케이블은 Off-Line 진단과 고장 이력을 통해 유지보수가 이루어지고 있는 실정이다.

현재 국내 지중 배전케이블의 경우, Off-Line 상태에서 절연저항 측정, 내전압 시험, 열화 시험을 통해 케이블을 진단하고 있으며, 최근에는 VLF(Very Low Frequency) 진단 장비를 도입하여 Tan δ 와 부분방전을 측정함으로써 케이블 진단을 시행하고 있다.

그러나 배전계통에서 운영되고 있는 지중 배전케이블에 대하여 On-Line 상태에서 실시간 감시는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

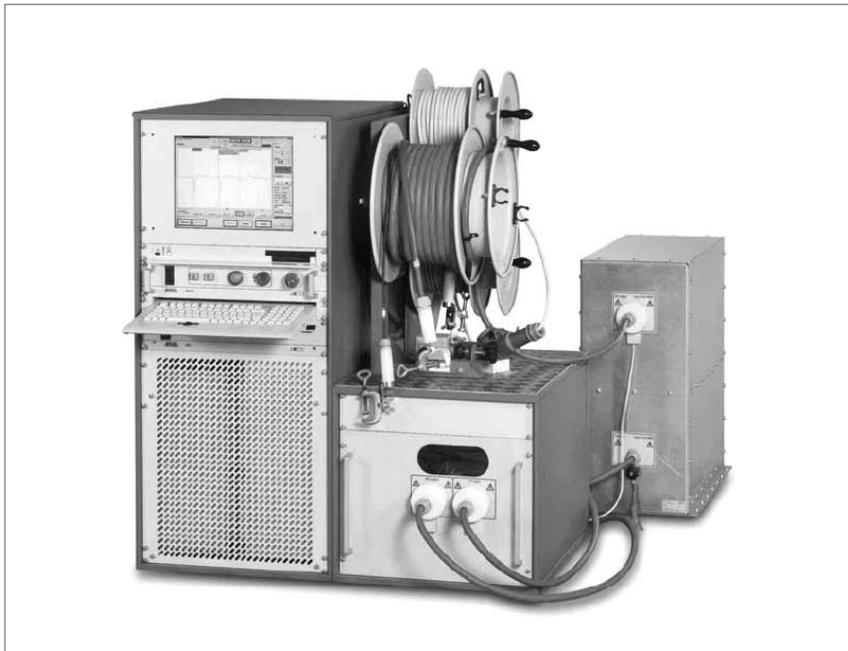
2. 동향

■ 국내외 기술개발

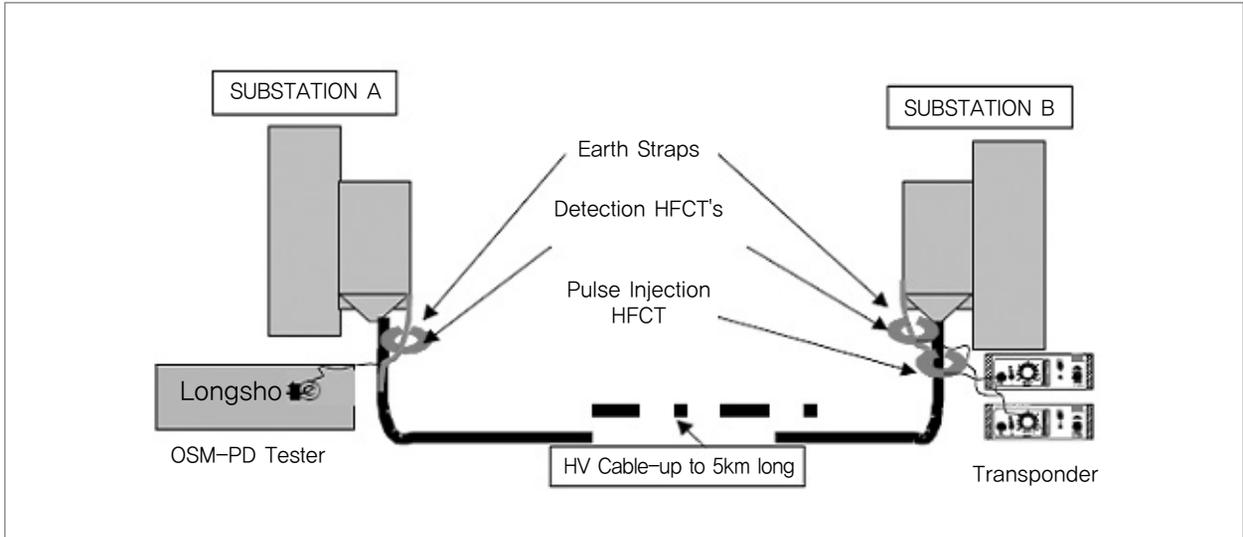
전력케이블의 실시간 감시를 위한 방법은 DC 전류를 직접 측정하는 방법, DC 전류 측정을 통해 절연저항을 측정하는 방법, Tan δ 를 측정하는 방법, Low-Frequency 전류를 이용하는 방법, 부분방전(Partial Discharge ; PD)을 측정하는 방법, 접지 전류를 측정하는 방법, 온도를 측정하는 방법 등이 존재한다.

지중 배전케이블의 실시간 감시의 사례로, EDF 에너지에서는 MV급 11kV와 6.6kV 지중케이블 네트워크에 대해서 On-Line 부분방전 측정 및 Mapping 시스템을 적용하고 있다.

부분방전 측정은 케이블 진단 분야에 있어 국내외적으로 발전해온 방법으로 센서기술, 신호처리 기술 등의 기술 발전으로 Off-Line에서 뿐만 아니라 On-Line에서도 케이블 감시 및 진단을 할 수 있도록 발전되어 왔다.



[그림 1] VLF 진단 장비



[그림 2] 'Transponder'를 이용한 PD 위치 측정법

EDF 에너지의 지중 케이블 On-Line 감시의 목적은 신뢰성 있는 배전계통의 상태 평가를 위한 것으로서 이 측정 데이터는 자산관리를 위해 사용된다. EDF의 장기적인 배전계통 운영에 있어서의 주안점은 ▲전력계통의 전제적인 위험도 감소 ▲고위험 부분에 대한 교체 대상 선정, 수리 및 관리 ▲다른 전력계통 자산에도 적용이 가능한 자산관리시스템 및 Tool의 개발 등이다.

한편, 부분방전을 통한 지중 배전케이블의 실시간 감시를 위해서는 부분방전을 검출할 수 있어야 하고, 부분방전이 검출되면 위치를 찾을 수 있어야 해당 부분에 대한 조치 방법을 결정할 수 있다. 이에 따라 현재 EDF 에너지에서는 PD 파형분석 알고리즘을 가진 'Event 인식기' 라는 소프트웨어를 통해 노이즈와 부분방전을 자동으로 구별한다.

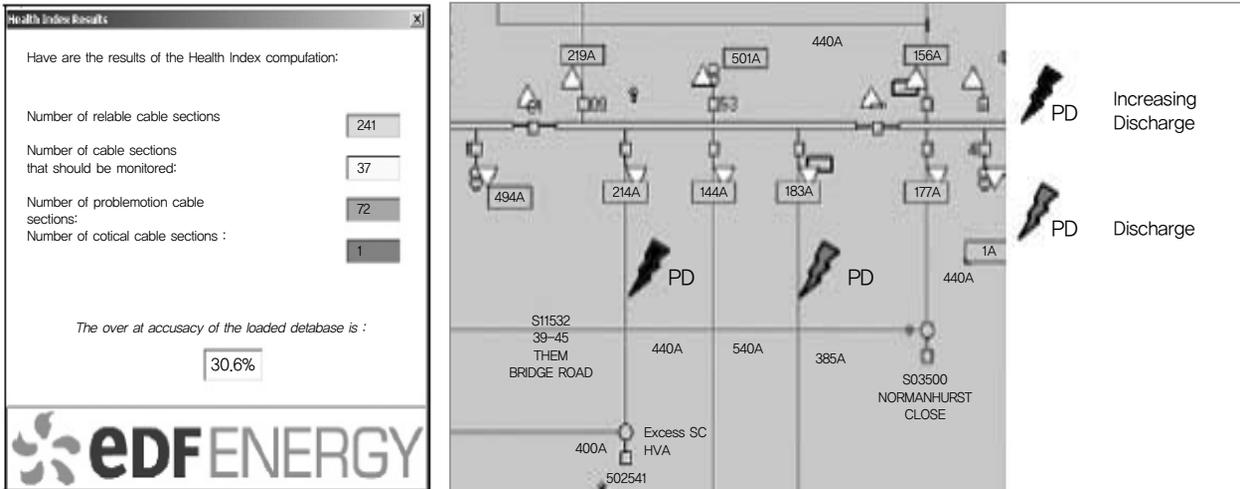
또한, PD 측정을 유용하게 사용하기 위한 PD 발생위치 파악에서는 그림 2의 'Transponder' 라는 장치를 사용하고 있다. PD가 발생하면 케이블은 부분방전 전달매체로 작용하여 발생위치에서 양쪽으로 전파하게 된다. 측정

끝단에 도달하는 첫 번째 펄스는 발생 후 바로 도달하는 것이고 반대쪽으로 전달된 신호는 끝쪽에서 반사되어 돌아온 것이므로, 이때 신호의 시간차이를 이용하여 발생 위치를 추정한다. 하지만 이러한 반사파는 매우 작거나 다른 신호와의 구분이 어렵기 때문에 고장점을 추정하는 것이 쉽지 않다.

이를 해결하기 위해서는 반사파를 노이즈와 확실히 구분되도록 해야 하는데, 이를 위해 EDF 에너지에서는 부분방전 검출기와 펄스 발생기로 구성된 'Transponder' 라는 장치를 사용하고 있는 것이다.

더불어, EDF 에너지의 이동형 'Transponder System'은 MV급 케이블 5km 선로에 대한 부분방전 위치측정을 성공적으로 수행하였다.

또한, EDF 에너지에서 사용하고 있는 On-Line 웹기반 부분방전 감시는 웹에서 원격 다운로드나 분석 등이 가능하도록 구성되어 있다. 특히 'Knowledge Rule'을 통해 각 회로(부분방전 크기와 경향에 따라)의 위험도를 분석할 수 있다. 이상의 자동화된 부분방전 감시프로세서로부터 수집된 데이터를 활용하여 위험도가 높은



[그림 3] EDF의 지중선로 Health Index와 선로관리 프로그램

회로를 선정하고 사전점검과 교체, 수리의 준비단계인 On-Line 부분방전 매핑을 시행한다. 그리고 이와 같은 측정데이터와 함께 케이블 선로의 과거 운전이력을 고려한 신뢰도를 평가하는 Tool을 제공함으로써 전체 지중선로의 효율적인 운전이 가능하다.

그리고 데이터를 배전계통 운영시스템과 연계하여 지능형기기의 이상 정보를 표시하는 방법으로 사용자 화면에 알람신호를 표시함으로써 이상 징후를 사전에 파악하고 조치할 수 있도록 한다.

한편, 영국의 TECHMP system에서는 커플러방식 센서와 HFCT를 사용한 부분방전 측정시스템을 구성하고 광통신과 연계하여 실시간 감시하는 방법을 제안하고 있다.

■ 광복합 케이블을 활용한 전력케이블 모니터링

전력케이블의 온도는 케이블을 감시하는 수단임과 동시에 케이블을 통해 공급할 수 있는 부하전류의 용량과 관련된 중요한 요소이다. 전력케이블의 실시간 온도 감시 방법으로는 온도 센서를 특정 지점에 설치하여 감시하는



[그림 4] 커플러 방식센서와 HFCT

방법과 광케이블을 활용한 기술이 발전하면서, 광케이블 내의 광섬유를 온도센서로 활용하여 온도를 측정하는 방법 등이 있다.

특히, 광케이블을 온도센서로 이용할 수 있는 기술이 개발되면서, 이를 활용하여 전력케이블의 온도를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템을 국내외적으로 구축하여 운영하고 있다. 네덜란드에서는 고전압 단상 케이블에 광케이블을 삽입하고, 250km의 지중선로에 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) 기술을 이용해 케이블의 온도를 측정하는 광복합 온도 측정시스템을 포설하여 운전 중에 있다. 중국은 2008년 북경전력에서 포설되는 케이블에 분포온도 측정용 광케이블을 포설하여 케이블 감시를 하고 있다. 또한, 멕시코는 멕시코시티 전 지역에 온도 센서와 광케이블을 활용하여 지중 배전 케이블의 실시간 온도 모니터링이 가능한 시스템을 구축할 예정이다.

한편, 광케이블을 전력케이블에 내장한 광복합 케이블이 개발되면서, 케이블 온도 측정을 위한 광케이블을 설치하지 않고 광복합 케이블 내의 광섬유를 이용하여 전력케이블을 감시하는 시스템을 구축하고 있다. 일본의 동경전력, 중부전력, 중국전력과 미국의 Pirelli, BICC, NKF, Nexans, ABB, Plex cable 등에서 광복합 케이블을 활용한 케이블 감시 시스템을 운영 중에 있다. 우리나라



[그림 5] 광복합 케이블

에서도 345kV 미금-성동 전력구 지중 T/L과 신양재-과천 전력구 지중 T/L에 광복합 케이블을 이용한 감시 시스템을 운영 중에 있다.

이와 같이 광복합 케이블을 이용한 케이블 온도 측정 기술은 일본, 유럽, 미국 등에서 상당 수준 상용화되어

있으며, 최근에는 중동, 남미, 동남아 등에서도 케이블의 온도분포 감시를 통한 Hot Spot 검출과 실시간 용량 산정 및 케이블 고장감지를 통해 케이블 사고를 예방하는 목적으로 시스템 구축이 증가하고 있다.

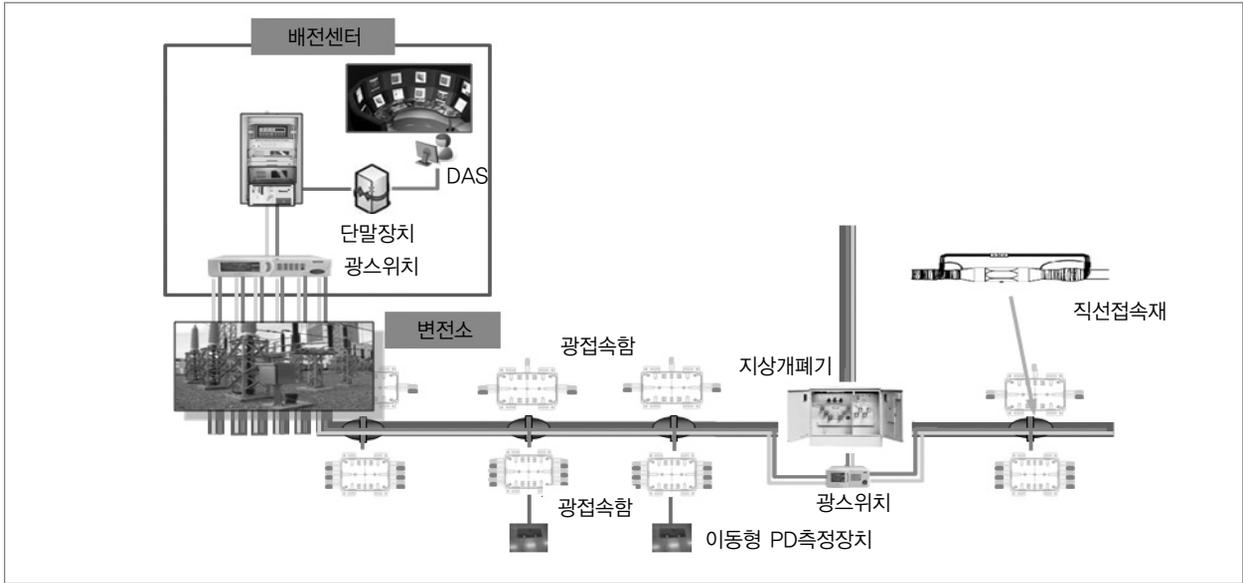
그러나 광복합 케이블을 활용하여 지중 케이블의 고장 예방을 위한 각종 감시시스템은 송전급 케이블에 주로 적용되고 있으며, 시스템 구축비용 등의 경제적 문제로 인해 배전급 케이블에 적용된 사례는 거의 없는 실정이다.

■ 광복합 지중 배전케이블 지능화시스템 개발

스마트그리드가 확산되고 지능형 배전기기가 증가할수록 배전계통에서 실시간으로 처리해야 하는 데이터의 양은 급증하게 될 것이다. 이로 인해 배전계통의 안정적인 스마트그리드 체제로의 전환을 위해 광통신의 중요성이 대두되고 있다.

현재 배전선로는 전력케이블 설치와 광통신망 구축이 함께 진행되는 추세인데, 만약 광통신과 전력전송을 동시에 수행할 수 있는 광복합 케이블을 설치할 경우, 전력케이블과 광통신 선로를 별도로 포설하는 것보다 경제적이며, 동시에 지중 배전케이블 실시간 감시시스템을 구축할 수 있을 것이다. 이에 지난 2009년 6월부터 정부 지원 하에 한전 전력연구원에서는 지중 배전계통에 광복합 케이블을 적용하고 이를 통해 광통신망과 지중 배전케이블 실시간 감시시스템을 구축하는 '광복합 지중 배전케이블 지능화시스템'을 연구 중이다.

한전 전력연구원에서 연구 중인 광복합 지중 배전케이블 지능화시스템은 현재의 지중 배전케이블을 대신하여 광복합 케이블을 전력선으로 사용할 경우, 별도의 통신망 구축 없이 전력통신이 가능하지만, 전력선 고장 시 통신 불능 상태가 될 가능성이 있다. 따라서 이를



[그림 6] 광복합 지중 배전케이블 지능화시스템 구성도

사전에 예방할 수 있는 필수적인 감시시스템을 지중 배전선로 운전환경에 적합하게 개선하면서 동시에 배전 계통 운영시스템과 연계하여 운전하는 것을 목적으로 하고 있다.

현재 연구 개발 중인 광복합 지중 배전케이블 지능화 시스템은 지중 배전계통에서 발생된 고장이 확대되지 않도록 초기에 고장을 검출하고, 광복합 케이블과 접속재도 고장발생 시 통신 불능이 최소화 될 수 있는 구조이며, 많은 간선과 분기선로를 가진 복잡한 지중 배전계통 전체를 감시할 수 있는 경제적인 시스템으로 설계하여 실증시험 중에 있다. 향후 실증시험을 통해 도출된 개선 사항을 보완한 후 현장의 지중 배전선로에 시범 적용할 예정이다.

광복합 지중 배전케이블 지능화시스템이 현장에 적용 되면 스마트그리드를 위한 광통신망 구축과 더불어, 온라인으로 케이블 온도 실시간 감시, 허용용량 추정 및 부분방전 감시도 가능한 지능화시스템이 배전센터 내에 설치되어 배전계통 운영시스템과 연계되어 운전될 것이다.

3. 전망

지중 배전케이블의 지능화를 위하여 국내외적으로 지중 배전케이블 감시시스템의 상용화 및 연구개발이 진행 중이다. 현재 온라인 PD 감시를 통해 지중 배전케이블의 실시간 감시시스템은 상용화되어 있으나, 광복합 케이블을 활용한 케이블 온도 감시는 배전급에서 상용화되어 있지 않은 실정이다.

이에 따라 통신망 확보와 지중 배전케이블 감시가 가능한 광복합 지중 배전케이블 지능화시스템이 연구개발 중에 있다.

광복합 지중 배전케이블 지능화시스템이 현장에 적용 되어 배전운영 시스템과 연계된다면, 기존의 지능형 배전 기기와 함께 배전선로 상태를 실시간으로 감시하여 고장 예측과 복구시간 단축으로 보다 안정적인 배전계통 운영과 더불어 광통신망 구축으로 스마트그리드 체제로의 전환을 가속화 시킬 것이다. KEA