

사우디아라비아 380kV XLPE Cable의 신뢰성 확보를 위한 온라인 부분방전 모니터링 시스템 구축

서인진\*, 이전선\*, 김한중\*, 김중철\*, 김정윤\*\*, 이현선\*\*,  
LS전선\*, M-POWER\*\*

Construction of On-line Partial Discharge Monitoring System for 380kV XLPE Cable in Saudi Arabia

In-Jin Seo\*, Jeon-Seon Lee\*, Han-Joong Kim\*, Jong-Cheol Kim\*, Jung-Yoon Kim\*\*, Hyun-Sun Lee\*\*  
LS Cable\*, M-POWER\*\*

**Abstract** - We constructed an on-line PD monitoring system for the 380kV U/G Cable project at the Riyadh 9012 substation in Saudi-arabia.

The system will be monitoring the termination of the two 380kV XLPE Cables to prevent unexpected failure of the cable insulation.

The system had been tested in the laboratory and on-site for detection of various PD signals and reliability of operation.

The system distinguish the existence and nonexistence of the partial discharge and then judge the source of partial discharge using automatic PD pattern recognition software.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 전기수요급증과 도시화로 인한 지중 전력케이블의 수요가 기하급수적으로 증가함에 따라 전력케이블의 건전성 확보에 대한 필요성 역시 증가하고 있다.

전력케이블은 30년 이상의 내구성을 보장하도록 설계가 이루어지고 있으나 제작 과정 또는 포설 시 작업자의 실수에 의하여 결함이 발생하거나 또는 장기사용으로 인하여 절연체가 열화 되어 절연파괴 사고가 발생하기도 한다.

활선 상태의 전력 케이블의 절연체에 공극이나 금속이물 등의 결함이 존재하면 전기트리로 성장하게 되는데, 이때 발생하는 열, 빛, 펄스형태의 신호를 분석하면 케이블 내부의 문제점을 파악하여 사고를 미연에 방지 할 수 있고 적합한 유지보수 계획을 세울 수 있으나 현실적으로 이를 검출하고 분석할 수 있는 숙련된 인력 및 장비가 부족한 실정이다. 게다가 국내에는 20년 이상 사용되어 노후화된 전력케이블도 상당수 있어 절연체 이상 유무 파악 역시 시급하다.

온라인 부분방전 모니터링 시스템은 HFPD(High Frequency Partial Discharge) 측정 기술을 기반으로 운전중에 있는 전력 케이블의 절연체의 이상 여부를 상시 감시하여 불의의 사고를 사전에 방지하며, 고장 시 숙련된 측정자를 대신하여 이상여부 발생 단계부터 절연체 결함 원인과 심각성을 인공지능을 통하여 데이터를 추적하고 판단하여, 사용자에게 경고함으로써 최적의 유지보수 계획을 세울 수 있도록 한다.

당사에서는 1990년대부터 전력케이블에 적용되는 각종 센서 및 초음파 측정기술과 분석기술 개발을 시작으로 초고압 선로에 대한 부분방전 진단을 통해 축적된 노하우를 바탕으로 선로의 이상 유무를 원격으로 진단, 감시하는 온라인 PD 모니터링 시스템 개발에 착수 2005년 LS전선 구미공장 - 광평 변전소 선로에 성공적으로 시범 설치하였다.

본 논문에서는 위와 같은 경험을 바탕으로 국내 최초로 해외에 초도 납품한 온라인 PD 모니터링 시스템의 구성과 모니터링 프로그램에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 프로젝트 개요

본 프로젝트는 사우디아라비아 전력청(Saudi Electricity Co.)에서 전력수요증가에 따라 전력설비를 추가 신설하는 380kV U/G Cable 프로젝트의 일환으로 리야드에 위치한 9012 변전소 내 380kV XLPE 케이블의 EB-G 단말 2개소를 감시하기 위하여 온라인 부분방전 모니터링 시스템을 설치하였다.

2.2 온라인 부분방전 모니터링 시스템 기본 구조

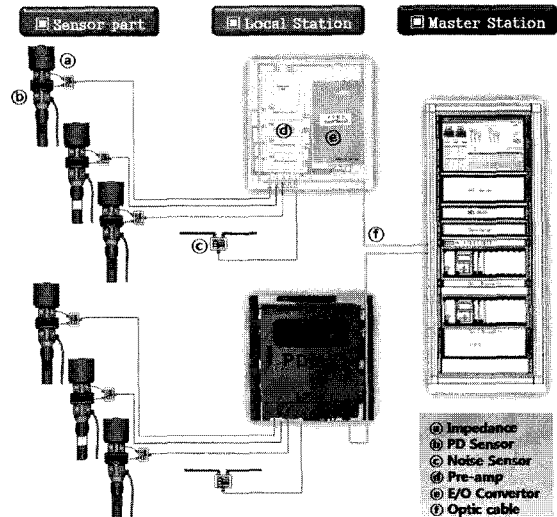
온라인 부분방전 모니터링 시스템은 센서부분, 지국(local station), 주국(master station)으로 구성된 하드웨어 부분과 부분방전 신호 분석을 위한 소프트웨어 부분으로 구분된다.

케이블 절연체 결함에서 발생하는 부분방전 신호는 PD 센서를 사용하여 검출된다. 센서에 검출된 신호는 지국의 내부에 위치한 앰프 & 필터 그리고 E/O converter를 통해 전기적 신호에서 광신호로 전환되어 신호 손실 없이 통제실의 주국으로 전송된다. 전송된 신호는 O/E converter를 통하여 다시 전기적 신호로 전환되며 이 신호는 부분방전 신호 외에 노이즈 성분 역시 포함하고 있기에 주파수 분석과 주파수 변조 기술을 통해 신호가 내포하고 있는 수백MHz까지의 주파수 성분 중에서 S/N(signal/noise)비가 가장 우수한 주파수 성분이 선택되며 또한 변전소 내부에서는 코로나 노이즈와 같은 다양한 환경 노이즈들이 존재하기에 노이즈 제거 기술을 이용하여 검출된 신호로부터 노이즈를 완전히 제거한다.

주파수 변조 기술과 노이즈 제거 기술을 통해 노이즈 성분이 제거된 신호는 PRPD 및 T-F map로 연산되어 서버 PC에 위치한 데이터베이스에 저장되며 이로부터 client PC는 각종 파라미터들을 추출하여 신경망을 통해 부분방전의 종류와 결함원에 대한 분석이 이루어진다.

신경망은 인공지능을 사전에 학습을 시켜 새로운 데이터 입력 시 기존 학습된 데이터와의 유사성을 비교하여 새로운 데이터를 판단하는 방법으로 시스템에서 분류 가능한 케이블 절연체 결함원은 계면, 공극, 금속 이물이며 이 외 코로나 방전이 있다. 신경망 학습을 위한 데이터는 실험실 환경에서 모의 결함을 이용하여 생성하였으며 일부 현장 데이터 역시 적용되었다.

그림 1은 온라인 부분방전 모니터링 시스템의 전체 구성도이다.



〈그림 1〉 온라인 부분방전 모니터링 시스템의 구성도

2.2.1 Al foil sensor (PD Sensor)

부분방전 검출용 센서로서 그림 2(a)에서 보듯이 케이블의 방시층 표면에 절연통을 좌우로 하여 한 쌍의 전극을 설치하고, 전극과 절연통 사이에 형성되는 커패시턴스로서 내부 부분방전을 커플링(Coupling) 하는 원리이다.

그림2(b)는 등가회로이며 절연통을 경계로 반대편 케이블의 정전용량을  $C_2$ 로 가정하고 접속함 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 커플링 커패시터 역할을 하게 된다. 이때 전극에 의해 형성된  $C_3, C_4$ 는 PD펄스 전류의 경로를 만들고  $Z_d$ 에 부분방전이 검출된다.  $C_3$ 와  $C_4$ 의 정전용량은 500pF 이상 되도록 전극의 크기를 설계하였으며 5, 10, 20pC의 펄스 브레이션 펄스를 인가하였을 때의 주파수 스펙트럼으로써 20~40 MHz의 대역에서 검출 되었다. 측정감도는 변전소 환경임을 고려할 때 고감도 측정인 10pC이하였다.

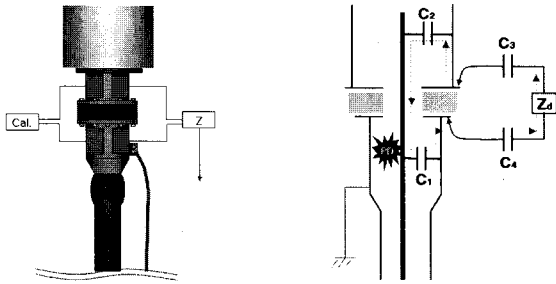


그림 2(a). PD센서 설치      그림 2(b). 등가회로  
**<그림 2> PD 검출을 위한 센서 구성**

**2.2.2 지국(Local Station)**

지국은 3개의 상과 노이즈를 위한 4개의 앰프와 하나의 E/O Converter 로 구성하였다. 지국이 설치된 변전소는 강한 전압과 서지에 노출되어 있으므로 각 단계별로 보호 장치와 보호회로를 갖추었다. 앰프에는 고감도 부분방전 측정을 위한 최대 70dB의 증폭기능과 함께 다양한 노이즈들에 대처하기 위하여 4단계 필터 기능을 구현하였으며 이를 거친 신호는 E/O Converter를 통하여 광신호로 전환 주국으로 전송되어 신호처리 및 분석 단계를 거치게 된다. 다음은 지국의 주요 사양이다.

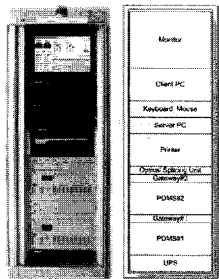
**<표 1> 지국 주요사양**

구성	항목	사양
Pre-Amp	이득	최대 70dB, 26단계 선택 가능
	주파수	3~48MHz
	필터	0.5, 3, 5, 10MHz 선택 가능
	과전압보호	서지 보호 장치 내장
	동작온도	-20℃ ~ 60℃
E/O Converter	동작전압	E/O Converter로부터 9V 제공
	채널	4 채널(동시 전송)
	과전압보호	서지 보호 모듈 내장
	신호 전송	광전송
	동작전원	AC 220V/50Hz

**2.2.3 주국(Master Station)**

감시개소가 EB-G 단말 2개소이므로 주국의 주요 구성 항목들은 PDMS 2대, 게이트웨이 2대, 클라이언트 PC와 서버 PC 각1대 그리고 안정적인 전원 공급을 위한 무정전 전원 장치(UPS)이다.

PDMS에 전송된 광 신호는 O/E Converter를 통해 전기적 신호로 전환이 되고 터너의 주파수 변조 기능과 노이즈 제거 기능을 통해 PRPD 분석을 위한 PD신호만 존재하게 되며 게이트웨이를 통해 TCP/IP 통신 프로토콜로 PDMS로부터 서버 PC의 데이터베이스에 PRPD 데이터로 저장된다. 그림 3은 주국의 설치 모습과 구성 항목들이다.



**<그림 3> 주국의 설치 모습과 구성 품목**

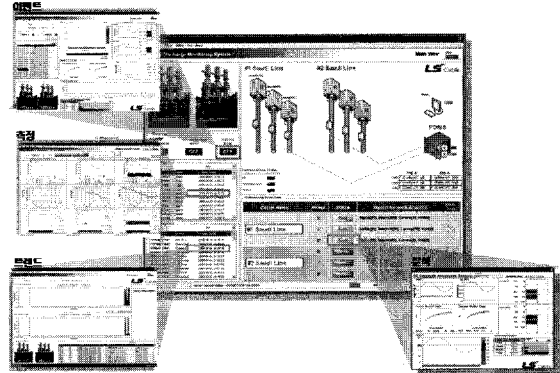
**2.3 HMI(Human Machine Interface) 프로그램**

HMI 프로그램은 장비의 제어와 검출신호의 분석결과를 보여준다. 제어 프로그램을 통하여 장비들의 설정치를 조정 할 수 있으며 원격으로 내장된 웹브라우저를 제어하여 수시로 방전 값을 보정할 수 있다

또한 주파수 분석, 시간 축 분석 그리고 T-F map 그리고 PRPD 및 신경망 분석을 서버 PC에서 연산하여 클라이언트 PC를 통해 보여주며 절연체 이상 발생 시 운영자에게 경고하고 동시에 결합된 및 발생개소를 화면에 표시한다. 또한 자체 시스템 점검을 통하여 통신장애나 하드웨어 에러의 경우에도 운영자에게 장애 발생을 경고한다. 또한 운영자의 요구와 특성을 고려하여 다층메뉴 및 등급별 접근권한을 부여하였고 그림을 통해 친숙하고 직관적으로 구조를 구성하여 누구나 쉽게 모니터링 화면을 통하여 케이블의 상태를 확인 할 수 있도록 구성하였다.

**2.3.1 메인 모니터링 화면**

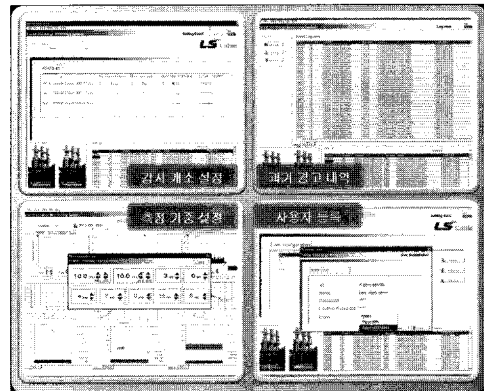
메인 모니터링 화면은 그림 4에서 보듯이 두 개소 각 상의 이상 유무나 시스템의 에러발생 유무를 그림에 표시된 심벌의 점멸과 경고 마크로 표시한다. 운영자가 이를 인지하여 심벌의 점멸과 경고음을 중지할 수 있도록 하였으며 마크나 데이터 축적 정보를 더블 클릭하면 이벤트 분석, 현재 감시 상황, 트렌드 분석, 신호 분석 결과의 상세 내용을 알 수 있으며 부분방전 발생 시 신경망을 통한 자동 패턴 인식으로 부분방전 발생원을 판단하여 표시하고 발생 개소 및 상을 색상을 이용하여 점멸함으로써 나타낸다.



**<그림 4> 메인 모니터링 화면 구성**

**2.3.2 운영 및 제어 화면**

운영 및 제어 화면은 주파수변조, 노이즈 제거 ON/OFF, 펄스 제거 폭, 노이즈 레벨, 메인 증폭/감쇄를 프로그램 상에서 제어 할 수 있으며 이외에도 과거 정보 내역 조회, 사용자 등록, 감시 개소 설정, 경고발생 레벨 조절을 할 수 있다.



**<그림 5> 운영 및 제어 화면**

**3. 결 론**

사우디아라비아 리야드에 380kV U/G Cable 프로젝트의 일환으로 초도 납품하여 구축한 온라인 부분방전 모니터링 시스템에 대하여 기술하였다. 본 프로젝트를 위하여 개발된 모니터링 시스템은 구미공장 - 광평 변전소 선로에 시범 설치한 온라인 부분방전 모니터링 시스템의 개발 및 설치를 경험으로 개선 및 보완하여 진행하였으며 특히 변전소 환경임을 고려 강한 전압과 서지로부터 시스템의 운영 신뢰성을 높이기 위해 단계별 보호회로를 추가하였다. 향후 본 시스템은 환경적응 내력 및 운전성능을 확인하고, 학습용 현장 데이터를 수집/학습시킴으로써 운영 안전성과 자동패턴인식의 정확성을 높여 나갈 계획이다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 김충식, "HFPD 부분방전 측정기술의 국내 최초 345kV XLPE 선로 준공시험 적용", 전력케이블 심포지엄, 2003
- [2] 이진선, "HFPD검출법을 이용한 지중케이블 실선로 진단"전기설비전문위원회 춘계학술대회 논문집, 2004
- [3] 김충식, "초고압 선로 부분방전 On-line 모니터링 시스템 개발", 대한전기학회 하계학술대회, 2005
- [4] 최재욱, "가스절연개폐장치 고장에방을 위한 UHF 부분방전 상시 감시 시스템", 대한전기학회 하계학술대회, 2005