

부분방전 검출을 이용한 22.9kV 배전케이블 실선로 결합 검출

이전선*, 김정윤**, 김석종**, 이등근**, 서경운***

*LG전선, **M-Power, ***금호타이어,

Defect Detection of 22.9kV Distribution Line based on the PD Detection

Jeon-Seon Lee*, Jung-Yoon Kim**, Seok-Jong Kim**, Dong-Geun Lee**, Kyung-Woon Seo***

*LG Cable co.ltd, **Maintenance Power Company Ltd. ***KUMHO Tire co.ltd

Abstract - 부분방전 검출을 이용한 XLPE 케이블 진단은 중간 및 종단 접속부의 계면에 존재하는 결함을 검출할 수 있는 가장 효과적인 방법으로 제시되고 있지만 현장의 큰 노이즈로 인하여 신뢰성 있는 진단이 쉽지 않다. 하지만 국내에서 많은 연구가 이루어진 송전케이블 진단 기술을 바탕으로 배전케이블 진단에 적용하여 종단 접속부에서 발생한 부분방전을 성공적으로 검출하였고 해체 조사를 통하여 결함을 검출하였다. 본 논문은 참고문헌[1]에 발표한 논문에 연결되는 논문으로 전편은 2004년 2월 부분방전 검출사례를 보고한 논문이고 본 논문에서는 8월 계획정전을 통하여 문제된 접속함을 교체한 후 해체조사를 통하여 결함을 검출한 사례보고이다.

배전급 케이블 접속부의 고장원인별 발생건수 중 대부분이 시공불량이 70% 이상을 차지하고 있다고 분석되었다.[2]

케이블 종단 접속부에서의 시공불량으로 인한 고장원인에는 다양한 고장요소가 있지만, 육안으로 확인할 수 있는 한계가 있음을 고려할 때, 종단 접속부의 경우 표 1과 같이 대표적인 7가지의 사고원인이 되는 시공불량으로 구분하고, 분해 해체/검사 시 점검 요소로서 활용하였다.

표 1. 배전 케이블 종단 접속부의 시공불량 사고 원인

사고 원인	분해 해체 점검 요소
Sleeve 압축 불량	단말 Conductor 부근 열화 흔적
접속 Tube 가열 불량	접속 Tube 안팎 탄화 흔적
절연체 손상	절연체 손상 유무 확인
반도전층 제거 불량	외부 반도전층 열화 흔적
연필 깎기 불량	Conductor 부근 절연체 확인
중성선/접지선 문제	중성선/접지선 이상 유무 확인
케이블 외피 이상	케이블 외피 손상 유무 확인

1. 서 론

배전 케이블의 경우 송전 케이블보다 열악한 환경에 포설되어 운전되기 때문에 사고의 발생 빈도가 높고 사고 발생시 사고 복구에 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 특히 화학공장이나 IT 제품을 생산하는 공장의 경우 정전으로 인한 손실은 치명적이다. 따라서 보수 및 교체시기를 결정하기위한 많은 연구가 수행되고 있지만 아직은 미진한 실정이다. 배전 XLPE 지중케이블의 가장 중요한 열화요인은 수트리(water tree)이지만 전 세계적으로 현장선로에 적용가능한 수트리 진단에 대한 기술이 정립되어 있지 않은 상태이며 또한 국내의 경우 다중접지 방식을 채택하고 있기 때문에 활성상태 수트리 진단은 쉽지 않다.

최근에 배전케이블 시스템의 활성진단 방법으로 적용되고 있는 기술은 케이블 시스템의 취약 부분인 직선/종단 접속부에 대한 부분방전 진단이 진행되고 있다. 선진 외국에서는 배전 케이블 진단에도 적용 사례가 증가하는 추세에 있고 국내에서도 송전케이블 진단에 적용했던 측정기술을 배전케이블 접속함 진단에 적용하여 수차례 부분방전을 검출하였고 사고를 미연에 예방하였다.

본 논문은 2004년 2월 배전케이블 종단접속부 내부에서 발생한 부분방전 검출 사례를 참고문헌[1]에서 발표한 이래로 8월에 계획정전을 행한 후 교체된 케이블 종단 접속부를 입수하여 분해 해체/검사 결과 부분방전 발생으로 인한 열화흔적을 발견한 사례보고이다.

2. 실선로 22.9kV 케이블 종단 접속부 점검

2.1 케이블 종단 접속부 사고원인 및 점검 요소

2.2 실선로 22.9kV 수변전 설비 시스템 개요

공장 내 Bank의 22.9kV 수변전 설비 구성 간략도는 그림 1과 같고, 총 3개 Bank로 구성된 설비이다.

XLPE 케이블로 구성되어 있는 부분은 154kV/ 22.9kV TR에서 GPT 판넬 선로와 VCB 판넬에서 22.9kV/6,600V TR까지 선로로 구성되어 있다.

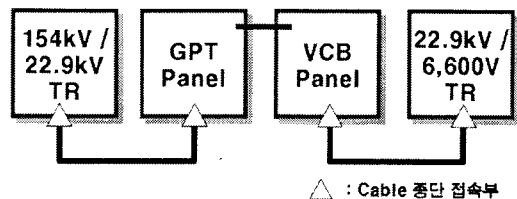


그림 1. Bank 22.9kV 수변전 설비 구성

그림 2는 그림1의 VCB 판넬에 설치되어 2002년에 운전 중 절연과피 사고가 발생된 케이블 종단 접속부 사진으로 반도전층이 끝나는 스트레스 콘 부분에서 절연과피가 발생되었으며 배전 케이블 사고의 상당부분을 차지한다. 이러한 유형의 사고는 부분방전 진단법을 이용하여 사고가 발생되기 전에 진단 가능하다.

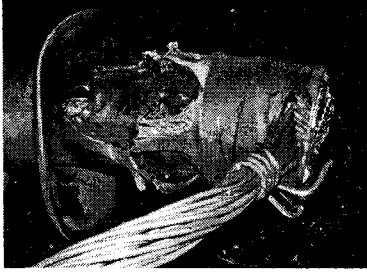


그림 2. 배전 케이블 중단접속부에서 발생한 절연과피 사진

3. 부분방전 측정

그림 3은 중단 접속부의 절지선에 HFCT 센서를 설치하여 측정된 노이즈 스펙트럼으로 저주파 대역에서 고주파 대역까지 전대역에 걸쳐 큰 노이즈 신호가 존재하고 부분방전 신호와 유사한 펄스성 노이즈가 존재함을 알 수 있다. 이러한 노이즈로 인하여 부분방전 검출법을 이용한 배전케이블 중단 접속부 진단은 쉽지 않다. 따라서 배전케이블의 중단 접속함을 신뢰성 있게 진단하기 위해서 여러 종류의 센서와 측정시스템을 적용하였다.

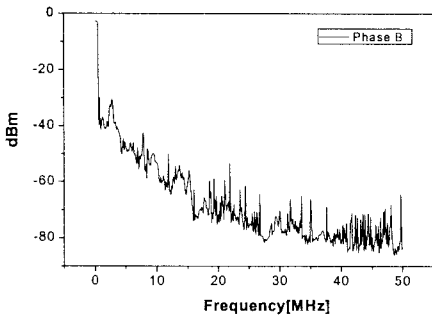
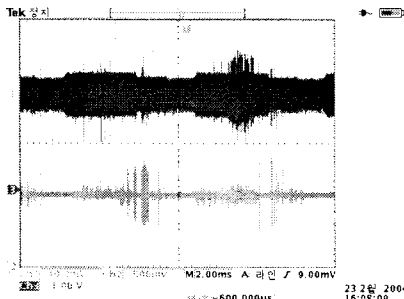
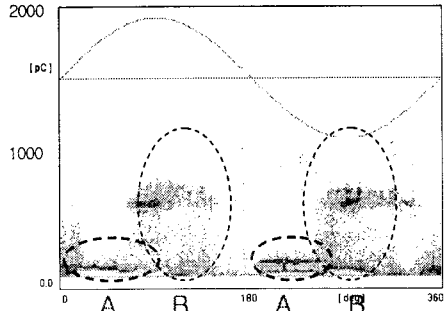


그림 3. 배전 케이블 중단접속부의 노이즈 스펙트럼 (HFCT 센서 이용)

배전케이블을 진단시 적용한 부분방전 측정센서는 유도성 센서, 용량성 센서, 초음파 센서, UHF 센서를 적용하였다. 그림 4(a)는 초음파센서와 HFCT 센서를 이용하여 검출한 부분방전 신호이다. 그림 4(b)는 HFCT 센서에서 검출된 β -q-n 부분방전 패턴으로 B 부분은 코로나로 인한 전형적인 패턴을 나타내었고 A 부분은 부분방전이 발생된 주기와 초음파 센서에서도 크게 검출된 것으로 보아 접속함 내부에서 발생된 신호로 판단하였다.



(a) CH 1: 초음파 센서, CH2: HFCT 센서



(b) β -q-n 패턴 (HFCT 센서)

그림 4. 배전케이블 중단 접속부에서 검출한 부분방전 신호

4. 접속함 해체조사

진단한 선로의 케이블 중단 접속부는 R사의 접속 kit 와 M사 접속 kit로 접속되었고, 점검 과정에서 나타난 열화 흔적 및 원인을 분석하였다

4.1 반도체층 돌기부분에서의 탄화흔적

그림 5는 절연과피 사고가 발생한 그림 2와 같은 종류의 R사의 중단접속부에서 발견된 현상이다. 중단 접속부 작업과정에 있어서, 외부 반도체층과 절연체사이에 스트레스 제어 마스틱을 감고, 실리콘 그리스를 도포한 후에 Stress Cone을 결합하여야 하나, 스트레스 제어 마스틱 과 실리콘 그리스 작업과정을 하지 않아 반도체층의 절단부의 돌기 부분에 고전계가 인가되어 부분방전 (Surface Discharge)이 발생된 것으로 분석하였고 탄화 된 흔적의 시작 부분에는 반도체 돌기가 발견되었다.

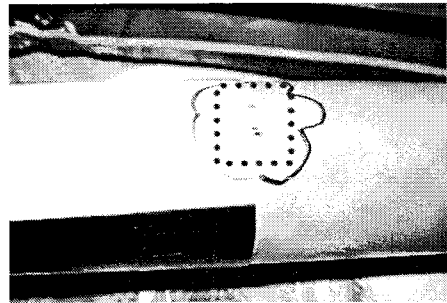


그림 5. 반도체층 돌기 부분에서 발생한 절연체 탄화흔적

이와 같은 결함의 경우 부분방전이 지속적으로 발생되면, 그림2와 같이 절연체가 열화되어 절연체 관통 절연과피 사고가 발생할 것으로 사료된다.

4.2 반도체층 제거 치수불량으로 인한 탄화흔적

M사의 중단 접속부의 작업과정은 외부 반도체층-절연체에 실리콘 그리스를 도포한 후, 반도체 테이프로 테핑 처리를 하여 반도체 테핑처리가 Stress Cone 역할을 하게 된다. 그림 6, 7은 점검한 M사 중단 접속부에서 발견된 현상이다.

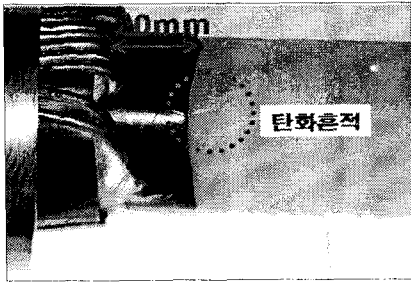


그림 6. 반도체층 제거 치수 불량

22.9kV CN/CV 케이블에서 M사 종단 접속부의 시공은 중성선과 외부 반도체층 사이의 길이가 40mm를 유지하고, 그 위에 반도체 테이프를 감아야 하나 입수한 모든 M사의 종단 접속부가 중성선과 외부 반도체층 사이의 길이가 20mm 안팎으로 남기고 그 위에 반도체 테이프 처리를 하였다[그림6]. 이 경우 반도체-절연체간에 고전계가 인가되므로 부분방전이 발생될 가능성이 크다.

실제 하나의 케이블 종단부에서 부분방전 발생으로 인한 절연체에 미세하게 탄화되어 있는 흔적이 발견되었다.

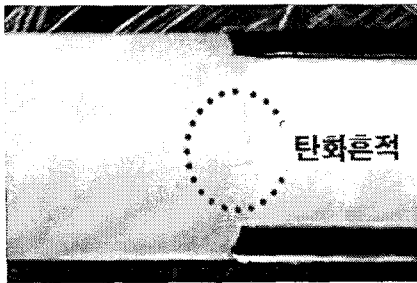


그림 7. 반도체층-절연체 탄화흔적

5. 결 론

실선로 22.9kV XLPE 케이블 접속부의 부분방전을 진단하기 위해서, 부분방전 측정기술을 이용하여 1, 2차 진단 결과, 부분방전 발생으로 의심되는 신호를 측정할 수 있었고, 계획 정진을 통하여 케이블 종단 접속부를 교체하였다.

교체한 케이블 종단 접속부를 입수하여 분해 해체/검사한 결과 부분방전이 검출되었던 케이블 종단 접속부에서 부분방전으로 인한 절연체 탄화흔적을 발견할 수 있었다.

따라서 부분방전 측정기술은 22.9kV 케이블시스템의 사고예방 점검에 유효한 방법으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이진선, 김충식, 이동근, 광충호, 석광현, 이경욱, "HFPD 측정법을 이용한 지중케이블 실선로 진단" 전기설비 전문위원회 춘계학술대회 논문집, 2004
- [2] 한국 전력 연구원 연구보고서, "배전용 CN CV 케이블과 접속부의 열화사고 방지대책에 관한 연구", 1990
- [3] 류희석, "전력기기 광역 절연진단 기술", 기술교육 교재, Vol. 7, No.1, 2004
- [4] 한국 전력 연구원 연구보고서, "송전케이블의 절연열화 진단기법 정립 및 수명예측 연구" '99전력연-단762

- [5] WG 21.05 on behalf of study committee 21, "Diagnostic methods for high voltage cable systems", CIGRE session 15/21/33-05, 1996
- [6] 이진선, "HFPD 부분방전 검출을 이용한 XLPE 전력 케이블 시스템 진단기술 개발 연구", 한양대학교, pp.3-4, 2003
- [7] E.Lemke, H.Elze, W.Weissenberg, "Experience in PD Diagnosis tests of HV cable termination in service using the ultra-wide band PD probing", XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, 2003
- [8] B.A Fruth, D.W. Gross, "Partial discharge signal generation transmission and acquisition", IEE Proc-Sci. Meas. Technol., Vol. 142, No.1, 1995