

주변압기 3차케이블 고장원인분석사례

박민구*, 진승환*, 원경배*, 조종은*
한국전력공사 설비진단처*

Analysis of breakdown on the Main-Transformer tertiary cable

Min-Goo Park*, Seung-Whan Jin*, Gyeong-Bae Won*, Chong-Eun Cho*
KEPCO Technical Diagnosis Department*

Abstract - 본 논문에서는 154kV 주변압기 3차측에서 사용하고 있는 6~10kV급 전력케이블인 TFR-CV 400mm²의 절연파괴고장에 대한 원인을 분석하였다. 대상 케이블은 2010년 9월에 가압하여 약 4.4년 운전 후 발생하였으며 차폐부 제거 후 열수축튜브를 시공한 사례이다. 위와 같이 차폐부를 제거한 케이블의 고장분석사례를 소개하고 고장 재발방지 방안을 제안하고자 한다. 이 논문은 향후 변압기 신·증설 및 교체, 운영에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

단말처리부를 통한 수분침투 개연성은 있으나 분석결과 절연체 수트 리현상은 발견되지 않았다. 케이블은 2010년 9월에 준공되었으며 제원은 아래 표1과 같다.

<표 1> 케이블 제원

제작사	규격	준공	비고
LS전선	TFR-CV 400mm ²	'10년 9월	차폐부 제거

1. 서 론

우리나라 변전소의 154kV 주변압기 3차측에는 일반적으로 노출되어 있는 동바를 사용하고 있으나 일부 변압기는 절연거리 부족으로 6~10kV급 전력케이블을 사용하여 절연을 확보하고 있으며 전계강도가 높은 단말처리부에서 많은 고장이 발생하고 있다. 특히 케이블 종단접속 슬드 접지부에서 지속적인 고장이 발생하였으며 이후 재발방지를 위해 케이블 차폐부(외부반도전층 및 동테이프 전체) 제거 후 XLPE 절연체 위에 열수축튜브를 시공하는 공법을 사용하고 있다.

일반적으로 고압케이블의 고장원인으로는 케이블 자체의 보이드, 돌기, 이물질 등 제작불량과 케이블 시공시 발생할 수 있는 튜 발생, 칼집, 열 수축 불량 등 시공불량, 공사현장 외물접촉 등 환경적 원인이 있다.[1][2]

케이블 절연파괴가 발생하게 되면 변압기 고장으로 이어져 변압기 과손 및 화재 등이 발생할 수 있으며 정전발생 등 전력계통에 막대한 영향을 끼칠 수 있어 이에 대한 대책이 필요하다.

2. 본 론

2.1 고장분석내용

고장발생 케이블을 수거하여 절연파괴 형상 및 위치, 케이블 설치환경 등을 분석하였다. 또한 케이블의 고장위치가 접지로 연결되는 AL클램프 인근인 접과 비차폐 케이블인 점을 착안하여 내전압시험을 통해 발생하는 현상을 관찰하고 전계해석 프로그램을 활용하여 비차폐케이블과 접지로 연결되는 지지가대 사이의 전계집중현상을 해석하였으며 시뮬레이션 프로그램 활용하여 비차폐 케이블에서의 전계완화 방안을 분석하였다.

2.1.1 외관분석

고장개소의 케이블은 차폐부(외부반도전층 및 동테이프) 전체 제거 후 XLPE 절연체 위에 열수축튜브를 시공하였으며 케이블 중간에 알루미늄 클램프를 설치하고 접지로 연결되는 도전성 지지가대에 고정시켰다.

절연파괴부는 단말처리부가 아닌 케이블 중간의 AL클램프 인접부로서 Hole 발생 및 고장전류에 의해 절연체와 외피가 용융되어 있었다. 그림 1은 고장현장에서 촬영한 절연파괴 사진을 나타내었다.

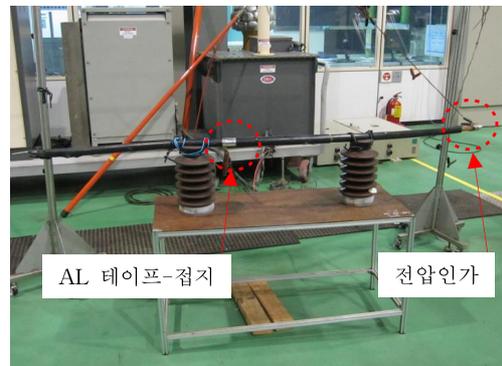


(a) 고장개소 전경 (b) 손상된 케이블

<그림 1> 154kV M.Tr 3차케이블 절연파괴 현장사진

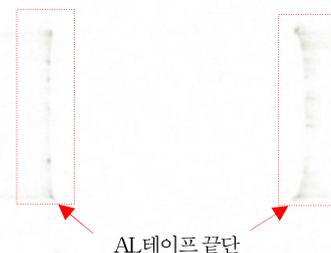
2.1.2 내전압시험

고장개소와 동일하게 시공되어 설치되어 있는 인근 케이블을 시료로 사용하여 그림 2와 같이 케이블 종단부 열수축튜브 표면에 AL클램프를 가정하여 AL테이프를 감아 접지하고 도체부에 40kV 전압을 서서히 인가하여 관찰하였다.



<그림 2> 케이블 내전압시험

내전압시험을 통해 AL테이프 양 끝단에 전계집중에 의한 방전현상을 확인할 수 있었다. 인가전압 20kV 이상에서 방전음이 확인되었으며, 30kV 이상에서 AL테이프 양 끝단 가장자리에 육안으로 인지할 수 있을 정도의 방전섬락이 관찰되었다. 그림 3은 방전섬락을 촬영한 사진이며 명확한 인지를 위해 반전처리 하였다.

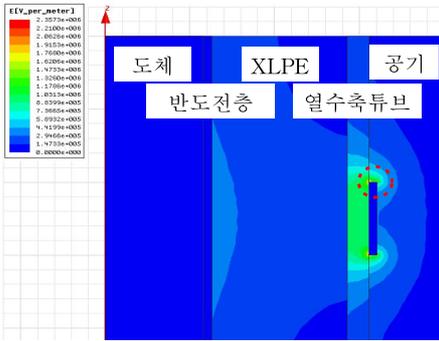


<그림 3> AL테이프 양 끝단 방전섬락 발생

2.1.3 전계해석

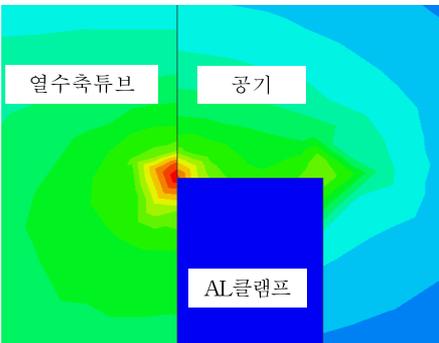
내전압시험을 통해 확인된 비차폐케이블의 부분방전현상을 전계해석 프로그램을 활용하여 전계강도를 분석하였다. 도체부에는 6.6kV, AL클램프에는 0V(접지)를 입력전압으로 실제와 같은 조건을 부여하였다.

그림 4는 고장당시 현장에 실제 설치된 것과 같이 케이블 외피에 AL 클램프를 시공한 것으로 해석하였으며 AL클램프 양끝단에 전계집중현상을 확인하였다.



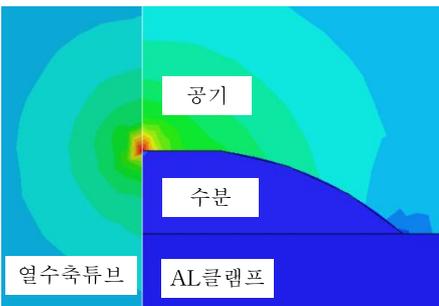
〈그림 4〉 고장당시 현장상황을 반영한 전계해석

그림 5는 그림 4의 AL 클램프 양단 전계집중부분을 확대한 화면을 나타내었다. 전계강도는 열수축튜브 및 AL클램프, 공기가 접촉되는 3중점에서 최대였으며 최대 전계값은 2.36kV/mm이다.



〈그림 5〉 3중점에서의 전계강도

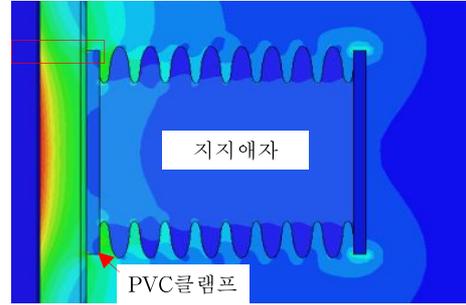
또한 표면에 수분이 있는 경우 최대 2.86kV/mm으로 우천 시 수분에 의한 전계강도가 커짐을 알 수 있으며 그림 6으로 나타내었다.



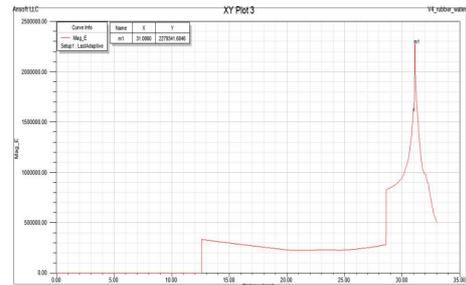
〈그림 6〉 수분이 있을 경우 전계강도

2.2 비차폐케이블 설치방안 시뮬레이션

비차폐케이블에서 발생할 수 있는 케이블과 지지금구류 사이의 전계집중현상은 접지축과 케이블간 예자 등으로 이격거리를 확보하고 비도전성 금구류를 사용함으로써 완화할 수 있다. 이에 대한 시뮬레이션 모델을 구성하고 Maxwell 프로그램을 활용하여 해석한 전계분포를 그림 7(a)과 같이 나타내었다. 그림 7(b)는 그림 7(a)의 도체 중심에서 케이블 외피(적색 박스)까지의 위치별 전계강도를 나타내었다. 현장여건 상 공간제약을 고려하여 지지예자의 높이는 100mm, 금구류는 PVC재질로 모델링하였다.



(a) 전계해석



(b) 위치별 전계강도 X-Y Plot

〈그림 7〉 지지예자 및 PVC clamp 전계해석

2.2.1 모델별 전계해석 결과

시뮬레이션 결과 클램프 양 끝단 케이블에는 전계집중이 발생하지 않았으며 전계의 세기는 최대 0.2kV/mm으로 종전대비 1/10 이하 수준으로 해석되었다. 표 2에서는 각 모델별(그림 5, 6, 7) 케이블 표면의 최대 전계값을 비교하여 나타내었다.

〈표 2〉 시뮬레이션 결과

구분	모델링	최대전계값 (kV/mm)	비고
그림5	AL클램프	2.36	
그림6	AL클램프, 수분	2.86	
그림7	PVC클램프, 지지예자	0.20	

3. 결 론

본 논문은 154kV M.Tr 3차 케이블 절연파괴고장에 대한 고장분석사례로 내전압시험을 통해 도전성 AL클램프 양 끝단 가장자리에 부분방전 발생을 확인하였으며 현장상황을 반영한 전계해석결과 접지축 지지가대와 연결되는 도전성 AL클램프 양 끝단 삼중점에서 전계집중현상을 확인할 수 있었다. 따라서 케이블 외부반도체층을 제거한 상태에서 접지축 지지가대와 연결되는 도전성 AL클램프의 양 끝단부에 전계집중에 의한 부분방전이 지속되어 절연파괴된 것으로 추정된다.

또한 전계해석프로그램으로 시뮬레이션한 결과 지지예자 등을 활용하여 절연거리를 충분히 확보하고 고정금구류를 비도전성 자재로 변경함으로써 외피에 발생하였던 전계집중 현상이 해소되고 전계값이 현저히 완화되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 비차폐케이블 설치시 부분방전을 최소화하기 위해서는 접지와의 이격거리 및 금구류의 재질을 충분히 고려한 설치방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

[참고 문헌]

- [1] G.Katsuta et al, "Influence of Defects on Insulating properties of XLPE Cable, Proceeding of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, pp.485-489, 1991.
- [2] 강동식 외 4인, "XLPE 케이블의 전기트리 열화에 따른 전기적 특성 검토", 대한전기학회, Vol.49C, No.7, pp.400-406,2000.