

지중송전케이블 기중종단접속함 절연파괴 원인분석

문경희*, 강지원, 김종채**
한국전력공사

Analysis of the cause of insulation breakdown in Transmission cable EB-A

Kyoung-Hee Moon*, Ji-Won Kang, Jong-Chae Kim**
KEPCO

Abstract - 본 논문에서는 154kV 지중송전선로의 기중종단접속함(EB-A)에서 발생한 절연파괴 고장을 분석하여 정확한 원인을 규명하고자 한다. 케이블 결합은 제조 공정에서 철저히 걸러내도록 조치하고 케이블 공장 출하시 시험을 통해 점검하고 있어, 고장은 케이블 자체 보다 현장에서 시공하는 접속함에서 발생할 우려가 매우 크다. 따라서 접속함 시공은 케이블의 안정적인 운전을 위해 매우 중요한 공정으로 접속작업 후 성능이 케이블과 동등 이상의 특성을 유지하도록 하여야 한다.

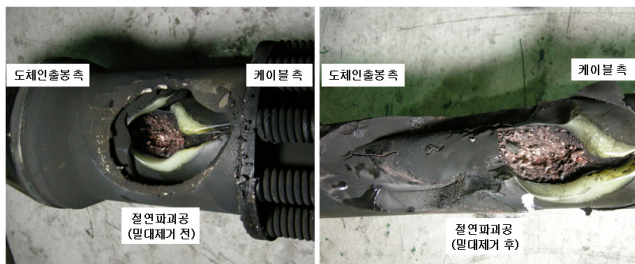
1. 서 론

기중종단접속함은 가공송전선과 지중송전 케이블간을 연결하기 위한 접속함으로 주로 옥외 변전소나 철탑 등의 대기중에 설치된다. 이 접속함의 주요 절연부품은 절연 보강층의 전계완화를 위해 매우 중요하며 XLPE 케이블과 OF 케이블용으로 구분된다. XLPE 케이블용은 고무 스트레스콘과 에폭시 에관 등이 있고, OF 케이블용은 유침 콘덴서콘 등이 있다. 또한 외부에는 기계적 강도와 전기적 절연을 위해 자기제 또는 폴리머 재질의 에관을 설치한다. 이번 고장분석한 XLPE 케이블의 기중종단접속함은 공장에서 생산된 케이블과 부품의 품질 조사를 위해 절연파괴된 부위의 시료를 채취하여 시료 분석을 수행하였으며, 접속작업의 정상적인 작업 수행을 확인하기 위해 케이블 부품 조립시 EB-A 접속도면 치수에 따른 작업 사항을 점검하였다. 또한 EB-A 접속도면 정상시공 점검시 발견된 스프링 압축길이 부족 조임현상에 대한 면압기준을 검토하여 기중종단접속함의 고장발생 가능성을 분석하였으며, 접속작업시 작업자의 시공결함에 의한 고장 발생 가능성도 검토하였다.

2. 본 론

2.1 고장개요

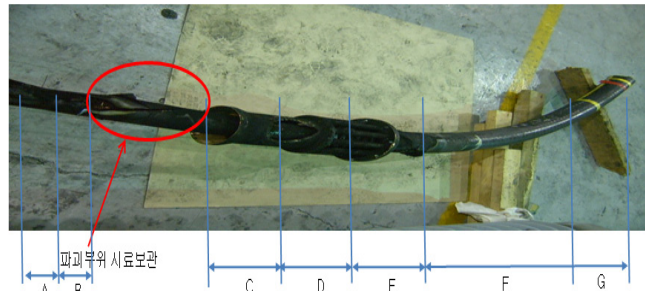
케이블 헤드철탑의 기중종단절연접속함(EB-A) 하단부에서 2011년 초에 절연파괴 고장이 발생하였다. 케이블 제원은 154kV XLPE 1200mm², 2회선으로 가공선로와 연결된 단구간(0.7km) 지중선로며 준공후 약 5년 만에 절연 파괴되었다. 차단기는 선로 고장시 개방되고 자동투입 1회 실패하였으며, 강제송전을 실시하였으나 실패하였다.



<그림 1> 케이블 고장사진

2.2 절연파괴 부위 시료 분석

기중종단접속함의 고장원인을 규명하기 위해 절연파괴된 시료를 채취하여 분석을 실시하였다. 시료분석은 크게 절연 파괴공 주위의 외관검사와 파괴부위의 시료를 <그림 2>와 같이 7개소로 구분하여 각 부위에서 분석할 시험을 실시하였다.



<그림 2> 케이블 시료 구분

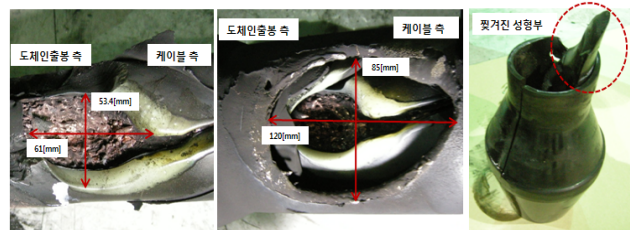
<표 1>과 같이 제품구조를 점검하기 위해 시료 G, 절연체 특성에 대해 시료 A, D, 절연체결합 및 열이력 분석에 대해 시료 B, C, E 등을 채취하여 분석을 시행하였다.

<표 1> 각 시료에 대한 시험항목

구분	시험항목	비고
시료 A	- 인장특성, Hot Set	- 절연체특성 분석
시료 B, C	- 보이드, 이물	- 절연체결합 분석
	- DSC, FT-IR	- 절연체 열이력, 재질 분석
시료 D	- 인장특성, Hot Set	- 절연체특성 분석
시료 E	- 보이드, 이물	- 절연체결합 분석
	- DSC, FT-IR	- 절연체 열이력, 재질 분석
시료 F	- 내도 돌기(Oil Bath)	- 절연체결합 분석
시료 G	- 케이블 구조	- 제품구조 점검

2.2.1 외관검사

절연파괴공은 기중종단접속함내 외부반도전층 다듬질 끝단부에서 약 60[mm] 아래 부위에서 발생하였으며, 파괴공 크기(외경)는 가로×세로 = 61[mm]×53.4[mm]이다. 특이사항은 파괴공 주위의 황동주물체 밑대에 큰 개구현상(120[mm]×85[mm])이 나타났으며, 스트레스콘 하부 반도전층 성형부가 찢겨있었으나 형상은 유지되어 있었다.



<그림 3> 파괴공 발생부위 크기 및 외형

2.2.2 케이블 시료분석

케이블 구조검사는 고장부위가 한전 구매규격에 적합하지 여부를 확인하기 위하여 측정장비를 이용하여 케이블 구조를 측정하는 것이며, 절연체 인장특성시험은 XLPE 절연체의 기계적 강도인 상온 인장강도와 신장률 상태를 확인하기 위해 시행하는 시험이다. Hot-Set Test는 전력 케이블의 절연체로 사용되는 XLPE의 가교정도와 노화현상을 파악하기 위하여 가교도를 측정하는 시험이며, DSC Test는 시차 주사열량측정에

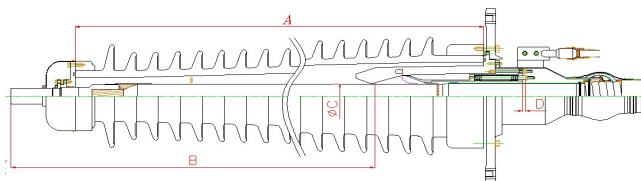
의한 케이블 절연층의 용해열을 측정하여 절연체내의 열이력을 파악하고 그 열 열화현상을 확인하는 시험이다. FT-IR 분석은 적외선을 이용하여 시료의 고분자사슬운동, 화학결합 등을 측정하여 절연재료의 화학 성분, 화학결합정보 및 산화정도를 확인하는 실험방법이며, Oil Bath 시험은 XLPE 케이블 내부 반도체층 돌기를 검사하고, 염색Test는 케이블 절연체의 결합 유무 즉 보이드, 이물 등과 반도체층의 불균일한 압출에 의한 돌기, 함몰을 측정하기 위해 돋보기와 현미경으로 관찰하는 시험방법이다. 각 시료에 대한 외관검사 및 재료 분석 결과 절연층내 일부 보이드(10[μ m] 이하)가 발견되었으나 정상치 기준(50[μ m] 이하)를 만족하며, 금속이물 및 돌기 등은 발견되지 않았다.

〈표 2〉 시료분석 결과 종합

시료분석구분	정상치	분석치	비고	
외관검사	참고시험	파괴공 1개	61×53.4	
케이블 구조(G)	한전 규격	-	정상	
절연체 인장 특성(A,D)	인 장: 12.5N/mm ² 이상 신 장 율: 200% 이상	22.25N/mm ² 이상 504.4% 이상	정상	
Hot Set Test(A,D)	Hot : 175[%] 이하 SET : 15[%] 이하	Hot: 61[%] 이하 Set: 0.1[%] 이하	정상	
DSC(B,C,E)	참고시험	특이사항 없음	정상	
FT-IR(B,C,E)	참고시험	특이사항 없음	정상	
Oil Bath(F)	돌기 250[μ m] 이하	없음	정상	
염색Test (B,C,E)	보이드	50[μ m]이하	10[μ m] 이하	정상
	Amber	250[μ m]이하	없음	정상
	B.,Metal	100[μ m]이하	없음	정상
	돌기	250[μ m]이하	없음	정상

2.3 EB-A 접속도면에 따른 정상시공 점검

접속작업의 정상적인 작업수행을 확인하기 위해 케이블 부품 조립시 EB-A 접속도면 치수에 따른 작업 사항을 점검하였다. 점검 결과 스트레스콘 위치 및 케이블 다듬질 절연외경 등 각 부품 조립수치는 양호하였으나, 예폭시와 하루 플랜지의 압축금구 스프링 압축길이가 8[mm](정상치 10[mm])로 조임이 부족함을 발견하였다.



〈그림 4〉 기중중단접속함(EB-A) 접속도면

〈표 3〉 도면 치수측정 결과

구분	측정 구간(위치)	정상치	측정치	결 과
A	애관 길이	2,000±10mm	2,010mm	양호
B	도체인출봉 상단 ~ 스트레스콘 상단	1,852±5mm	1,855mm	양호
C	다듬질 절연외경	∅77.9~82.0mm	∅78.5mm	양호
D	스프링 압축길이 (설계하중값)	10mm (700kg)	8.0mm (644kg)	2mm 조임부족
E	외도 직경	82.0mm	∅82.0mm	양호
F	스트레스콘 외경	∅158±3mm	∅158.5mm	양호

2.4 스프링 압축길이 부족현상에 대한 면압기준 검토

EB-A 접속도면 정상시공 점검시 발견된 스프링 압축길이 부족 조임현상(압축금구 2[mm] 부족조임)에 대해 스트레스콘과 케이블 계면 사이의 면압 영향을 검토하여 고장발생 가능성을 분석하였다. 면압 검토결과 스프링 자유고 25[mm] 압축 대비 8[%] 압축력 저하가 발생하며 전기적으로 안정한 면압기준(통상 4~7[kg/cm²])을 만족함으로 방전 가능성은 없는 것으로 판단된다. 즉 스프링 압축길이 2[mm] 부족조임시에도 면압은 약 5.76[kg/cm²]로 검토되어 안정한 면압기준을 만족한다. 이 현상은 고장시 충격에 의해 스트레스콘이 도체인출봉 측으로 밀리면서 스프링 압축길이가 변형된 것으로 추정된다.

〈표 4〉 스트레스콘과 케이블 계면사이의 면압 결과

구분	설계치	측정치	비 고
스프링 압축길이	10.0mm	8.0mm	2mm 변형
스프링 하중	700kg	644kg	2mm 변형으로 8% 감소
	6.27kg/cm ²	5.76kg/cm ²	

2.5 시공결함 발생 가능성 검토

접속작업 시공결함에 의한 고장발생 가능성을 세가지로 검토하였다. 1) 케이블 AI 금속시스 제거시 외부 반도체층 손상은 케이블 직선작업 후 외부 반도체층 다듬질 작업시 쉽게 확인 가능하므로 가능성이 매우 희박할 것으로 추정된다. 2) 유리칼로 외부 반도체층 절삭 작업중 외부 반도체층 손상을 일으킬 가능성은 외부 반도체층 다듬질 작업시 외부 반도체층이 제거되면 절연체와의 색상이 다르기 때문에 쉽게 발견할 수 있으며, 이 경우 접속표준상 샌드 페이퍼로 다듬질한 후 외부 반도체 부위에 반도체 페인트로 보완하므로 가능성은 역시 희박할 것으로 추정된다. 3) 케이블과 스트레스콘 계면의 경면화 처리를 위해 사용된 테프론 열수축 튜브 제거작업시 외부 반도체층 손상 발생은 절연체 및 외부 반도체층 다듬질 부위의 경면화를 위해 테프론 열수축 튜브를 처리한 후 열을 가해 경면화한 후 테프론 열수축 튜브를 제거함으로, 이때 스텝칼에 의해 작업자가 인지하지 못할 정도의 작은 상처를 입힐 가능성이 있는 것으로 추정된다.

3. 결 론

기중중단접속함(EB-A)의 고장은 절연파괴공 위치를 고려시 파괴공이 외부반도체층 다듬질 끝단부로부터 60[mm] 아래인 다듬질 처리 부위로 케이블과 스트레스콘 계면의 경면화작업 즉 테프론 열수축튜브 제거작업시 작업자가 외부반도체층을 손상시켜 그 지점에서 케이블이 절연파괴된 것으로 추정된다. 각 시료에 대한 외관검사 및 재료분석 결과 절연층내 일부 보이드가 10[μ m] 이하로 발견되었으나 정상치 기준(50[μ m] 이하)을 만족하고 금속이물 및 돌기 등은 발견되지 않았으며, EBA 접속도면에 따른 정상시공 점검시 발견된 스프링 압축길이 부족 조임(2[mm])현상도 안정한 면압기준(통상 4~7[kg/cm²])을 만족하여 방전 가능성은 없는 것으로 검토된다. 따라서 케이블 EB-A 절연파괴 현상으로 보아 파괴공은 손상된 외부반도체층 다듬질 부위에서 발생하여 용융 관통된 황동주물체 밀대(120[mm]×85[mm])를 통해 접지측으로 고장이 발생한 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] EB-A 접속작업 표준서(2004년)
- [2] 지중송전케이블 시스템(2002년, 한국전력공사)