

평가시공불량을 모의한 배전급 케이블 종단부의 전기적 사고 연구

최재형 · 최진욱 · 김상현 · 김영석** · 김선구** · 백승명***

경상대학교 전기공학과, 한국전기안전공사 전기연구원**, 창원전문대학 소방방재과***

A Study on Electrical Accident of Distributing Cable Termination with Simulated Badness Construction

Jae-Hyeong Choi · Jin-Wook Choi · Sang-Hyun Kim · Young-Seok
Kim** · Sun-Gu Kim** · Seung-Myeong Baek***

Department of Fire Protection Engineering, Changwon
College* · Department of Electrical Engineering, Gyeongsang National
University and Engineering Research Institute** · Electrical safety Research
Institute, subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation***

Abstract

This paper introduces experimental investigates of an electrical accident of the distributing cable termination with simulated badness construction. We prepared two termination kites, one is built-up type, the other is heat contraction type. Also, we manufactured cable termination that have simulated defect by badness construction and measured their insulation characteristics such as ac (35kV, 1min) and impulse (95kV, $1.2 \times 50 \mu s$) withstand test. The influence of defects such as thickness and the gap between stress-con of housing and semi-conductor on insulating properties of the termination have been studied. The thickness decrease of insulator decreases ac breakdown strength. Dielectric breakdown traces of insulator that is damaged by knife displayed other shape. The gap of between housing and semiconductor deteriorates dielectric strength of insulator seriously.

1. 서론

배전설비의 한 부분인 지중배전선로의 고장현황을 살펴보면 외상에 의한 사고가 약 40%, 외상이외의 사고가 약 60%를 차지하고 있으며, 외상이외의 사고 60%에 대하여 케

이들에서 약 30%, 접속재에서 약 70%의 사고가 발생하는 것으로 보고되고 있어 제조물의 결함으로 인하여 발생한 손해에 대한 제조업자 등의 손해배상책임을 규정함으로써 피해자의 보호를 도모하고 국민생활의 안전향상과 국민경제의 건전한 발전에 기여함을 목적으로 하는 PL법을 대비한 원인분석과 처리기준에 대한 데이터베이스가 절실히 필요한 실정이지만 이에 대한 연구가 미진한 실정이다(유양근, 2001, Billings, J.,W, 1984).

따라서 본 논문에서는 현재 사용되는 종단 접속재 중 가장 많이 사용되는 조립형 종단 접속재와 특수한 분야에 사용되는 열수축형 종단 접속재 두 종류의 종단 접속재를 이용하여 케이블 종단부 사고에 미치는 인자를 포함한 종단부 모델을 제작하여 각 결함이 케이블 종단부의 절연내력에 미치는 영향과 사고 형상에 대하여 고찰하였다.

2. 종단 접속재 및 실험방법

2.1 종단 접속재 공정별 결점 분석

종단 접속재는 작업하는 방법에 따라서 조립형, 열수축형, 자기수축형으로 구분하고 케이블 양끝의 절연을 보강할 뿐 아니라 종단에 집중되어 절연내력을 저하 시킬 수 있는 전계 집중을 완화시키는 역할도 한다. 국내에서는 조립형이 대부분 사용되고 특수한 분야에 열수축형이 사용되므로 본 연구에서도 이 두 가지 형에 대하여 연구한다. 조립형의 하우징은 날개와 스트레스콘으로 구성이 되어 있고 스트레스콘은 케이블의 외부 반도전층 끝부분에 집중되는 전계를 완화시킨다. 6.6kV 케이블 종단접속 시공공정에서 길이를 잘못 측정하여 박피하면 절연체의 길이가 감소하고 반도전층 박피할 때 주의하지 않으면 절연체의 두께가 감소한다. 절연체 세척 공정에서 불순물이 절연체 표면에 남을 수 있고 세척포가 외부 반도전층에 닿아 외부 반도전층의 일부가 절연체의 표면에 묻을 수 있다.

표 1. 본 연구에 적용한 시공공정에 따른 결점.

접속재	시공공정	시공불량에 따른 결점
공통	반도전층 박피	절연체 두께 감소
조립형	하우징 끼움	틈
열수축형	스트레스 제어 마스틱 감기	토치 열 분사 시간



(a) 조립형



(b) 열수축형

그림 1. 실험에 사용한 종단 접속재.

하우징 끼움 공정에서는 하우징의 스트레스콘과 반도체층과 겹치도록 끼우지 않으면 사이에 틈이 발생하게 된다. 열수축형은 스트레스 제어 마스틱과 스트레스 제어 튜브를 사용하여 전기적 스트레스를 접촉 부위에 완화시킨다. 열수축형은 스트레스 제어 튜브와 열 수축 튜브를 토치로 가열하여 튜브를 수축시키기 때문에 튜브에 열을 가하는 시간에 따라 전기적 특성의 변화를 가져 올 수 있다. 표 1에 시공불량에 따른 전기적 결점을 나타내고 그림 1은 본 연구에 사용한 접속제이다.

2.2 시료 제작

케이블은 국내에서 제작된 6/10kV 트레이용 가교폴리에틸렌 난연 전력케이블 (6/10kV TFR-CV 35SQMM×1C)로 절연체는 XLPE, 외피는 난연 PVC, 차폐층은 동 테이프, 내부·외부 반도체층으로 구성이 되어 있다. 교류(이하 AC) 전압 시험용은 80cm, 충격과(이하 IMP) 전압 시험용은 100cm로 절단하고 각 공정에 따라 발생할 수 있는 결점을 넣어 조립형 종단재와 열수축형 종단재를 이용하여 시료를 제작하였다. 칼을 이용하여 반도체층이 끝나는 부분에 절연체를 1mm와 2mm 깊이로 절단하였다. 하우징과 반도체층 사이의 틈은 5mm와 10mm로 하였다. 열의 분사 시간에 따른 절연특성을 고찰하기 위해 스트레스 제어 튜브와 열 수축 튜브에 열을 가하는 시간을 다르게 하여 시료를 제작하였다. 그림 2에 토치 열의 분사 시간에 따른 영향을 고찰할 시료의 중요 제작 공정을 나타낸다.



그림 2. 열수축형 종단 접속재 중요 시공과정

2.3 실험 방법

결점이 없는 시료를 IEEE Std 48-1996(R2003)의 기준에 따라 상용주파 건조내전압시험 AC, 1분 35kV_{rms}와 충격내전압시험 95kV를 인가하여 내전압 시험을 행하였다. 다음으로 결점이 있는 시료를 제작하여 외부 동차폐층을 접지시키고 도체에 AC 전압을 인가하였다. 1kV/sec의 속도로 상승시켜 절연과파가 발생할 때까지 전압을 상승시켰으며 IMP 전압은 28kV에서 절연과파 때까지 4kV씩 증가시켰다. 절연과파가 발생하고 난후 시료를 분해 전·후 관찰하고 절연과파 홀이 발생한 부분은 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 AC 및 IMP 내전압 시험

조립형의 경우 AC 35kV_{rms}, 1분 내전압시험에 통과하였으며 절연과파 시험을 한 결과 터미널 러거와 접지선사이로 종단재의 표면을 따라 연면으로 방전이 발생하였다. IMP 95kV 내전압시험에는 통과하지 못하였으며, 28kV에서 4kV씩 전압을 상승시켰을 때

84kV에서 중단재의 표면을 따라 연면 방전이 발생하였다. 열수축형의 경우 AC와 IMP 내 전압시험을 모두 통과하였다.

3.2 절연체 두께 감소 영향

조립형의 경우 AC 전압에서 두께가 감소가 1mm때 평균 44kV, 2mm때 32kV에서 관통에 의해 절연파괴가 발생하였다. 두께 감소가 없을 때 AC 평균 72.5kV에서 연면 절연파괴가 발생하는 것을 비교하였을 때 절연파괴 전압의 감소가 매우 크게 나타나남을 알 수 있다. 열수축형의 경우 AC전압에서 두께가 1mm 감소하여도 그 감소폭은 크게 나타나지 않았는데 이는 스트레스 제어 튜브를 열 수축하는 동안 스트레스 제어 마스틱이 녹아 결점을 보완하는 것으로 사료된다. IMP 전압에서는 평균 118kV 정도로 조립형보다 높게 나타났다. 그림 3에 두께 감소에 따른 절연파괴 전압을 나타내고 그림 4는 파괴 형상을 나타낸다. 절연파괴 흔은 칼자국을 따라 타원 형태로 발생하였다. 결함이 없을 때 원의 형태를 나타내는 것과 비교했을 때 매우 큰 차이를 나타내는 특징이라 할 수 있다.

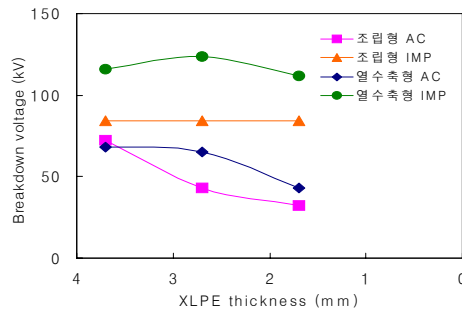


그림 3. 절연체 두께 감소에 따른 절연파괴 전압.

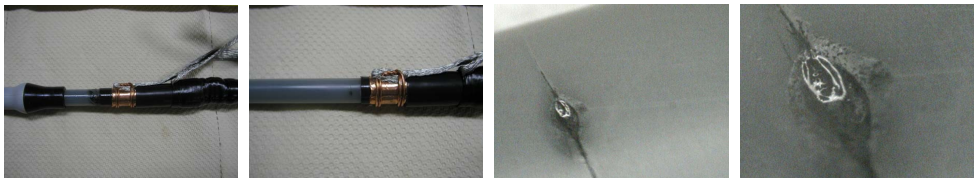


그림 4. 두께 감소에 따른 절연파괴 위치 및 흔적 (조립형, 두께감소 1mm).

3.3 틈의 영향

중단접속 시공 중 하우징의 하단부의 검은 부분과 반도체층은 겹치도록 시공하여야 하지만 케이블의 제작, 운반 및 작업 중 케이블 절연체인 XLPE의 형상이 완전 원이 아니고 타원 형상으로 변형되어 하우징이 잘 끼워지지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이처럼 하우징의 아래쪽 검은 부분과 반도체층이 겹치지 않고 사이에 틈이 발생하였을 때를 모의하여 틈이 5mm와 10mm인 중단접속을 한 시료를 제작하여 AC와 IMP 전압을 인가하여 절연 특성을 고찰하였다.

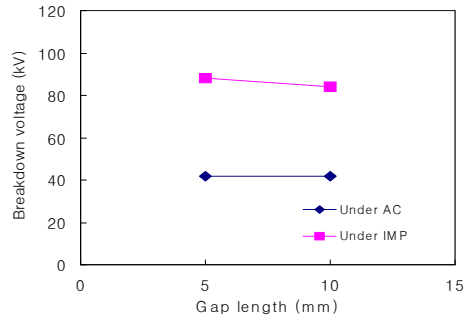


그림 8. 틈 간격의 영향.



(a) 파괴 위치 (b) 틈 5mm일 때 형상 (c) 틈 10mm일 때 형상

그림 9. 틈에 따른 절연파괴 특성.

5mm 틈을 가진 시료에 교류전압을 인가한 경우에 시료는 틈 부분에서 부분방전이 급격히 발생하여 42kV 전압에서 반 도전층과 XLPE가 만나는 지점에서 절연파괴가 발생하였다. 10mm의 틈을 가진 시료도 42kV 전압에서 절연파괴가 발생하였으며 절연파괴 구멍은 반도체층에서 약 1.5mm 떨어진 지점에서 발생하였다. 따라서 틈이 발생하면 AC 전압을 인가한 경우에 부분방전에 의해 XLPE가 심하게 열화 되어 탄화되고 절연파괴 전압이 매우 낮아 틈이 없는 경우보다 53%의 낮은 절연내력을 가지게 된다. IMP 전압을 인가하였을 때는 하우징의 표면을 따라 공기 중으로 연면방전 형태로 절연파괴가 발생하였으며 절연파괴 전압은 틈이 없는 경우와 오차범위 안에서 유사하게 나타났다. 따라서 IMP 전압에서는 틈의 영향이 없음을 그림 8을 통해 알 수 있다. 그림 9에 틈 5mm와 10mm 일 때 절연파괴 구멍과 흔적을 나타낸다. 구멍은 둥근 형상이고 열화는 반도체층과 홀 사이에서 심하게 발생하였다.

3.4 열 분사 시간의 영향

열수축형은 토치 열을 이용하여 튜브를 수축하여 종단 접속하는 방식으로 토치를 이용하여 열 분사하는 시간에 따라 튜브나 다른 재료의 특성이 변할 수가 있다. 따라서 열 분사 기간에 따라 전기적 특성을 고찰하였다. 먼저, 열수축 튜브에 열을 가한 시간과 절연파괴 전압을 측정된 결과 열을 충분히 가하지 않은 60초보다 열을 충분히 가한 300초 일때 절연파괴 전압이 약 11kV 높게 나타났다. 그리고 접속재를 완료한 경우에 60초 동안 열을 가한 경우 52kV에 관통 절연파괴가 발생하였지만 300초 동안 열을 가한 경우 75kV 연면 절연파괴가 발생하였다. 열을 충분히 가할 경우 스트레스 제어 마스틱과 튜브 내부 절연

물이 충분히 녹아 부분방전이 생기는 공극을 줄여줄 뿐 아니라 종단재의 표면의 습기나 불순물 등을 제거하는 효과가 나타나 절연과괴 전압이 높아지는 것으로 사료된다.

절연체의 두께가 감소된 경우 IMP 전압에서는 절연과괴 전압이 거의 일정하였지만 AC에서는 절연과괴 전압이 낮아지는 경향을 나타내었다. 이것은 XLPE 절연체가 단시간 고전압에는 특성이 우수하지만 장시간 부분방전에는 절연내력이 급격하게 떨어지는 것으로 사료된다.

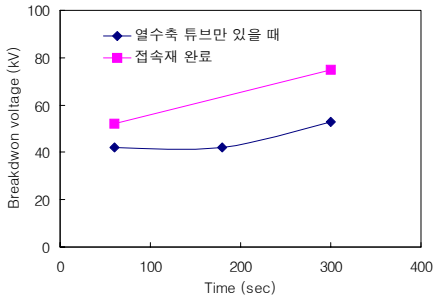


그림 1. 열 분사 시간의 영향.

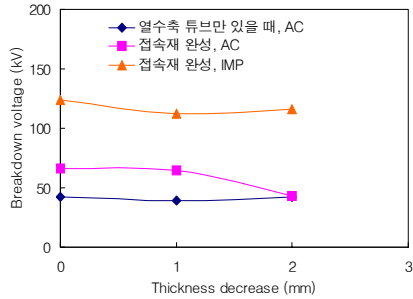


그림 2. 두께 감소의 영향.

3. 결 론

조립형과 열수축형 종단 접속재를 사용하는 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

결합이 없는 조립형과 열수축형을 종단재의 AC, IMP 내전압 시험결과 조립형이 IMP 내전압 시험전압을 견디지 못하였다. 두께 감소시 열수축형이 감소폭이 작게 나타났다. 이는 스트레스 제어 마스틱과 열수축 튜브내의 절연물이 녹아 틈의 영향을 감소시킨 것으로 판단된다. 절연과괴 형태는 타원으로 다른 결점으로 인한 형태와 비교되는 큰 특징이다. 반도전층과 하우징 하단부 사이에 틈이 발생하는 경우 AC 전압에서 부분방전에 의하여 XLPE가 심하게 열화 되었으며 결점이 없는 시료의 약 53%에 해당하는 절연내력을 나타내었다. 열수축형은 열을 충분히 가하지 않을 때 절연과괴 전압은 약 20% 정도 낮게 나타났다. 열을 충분히 가했을 때는 절연과괴 전압이 약간 증가하는 것으로 나타났는데 이는 열을 충분히 가하면 스트레스 제어 마스틱과 열수축 튜브가 충분히 녹을 뿐 아니라 종단재 표면의 수분이나 불순물 등을 제거해주는 효과가 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 유양근 “지중케이블 접속재”, 전기설비지, 2001년 10월호.
2. Billing, J.W., (1984) "Examination of Thin Tape Produced from Extruded Cable Insulation", 4. Int. Conf. Dielec. Matr. Mesa. and Appl., Lanchester U.K.