

기계적 손상에 따른 6.6kV케이블 종단부의 전기적 특성

백승명*, 최진욱**, 김상현**, 김영석***

창원전문대학*, 경상대 및 공학연구원**, 한국전기안전연구원***

Electrical Properties of 6.6kV Cable Termination by Mechanical Damage

Seung-Myeong Baek*, Jin-Wook Choi**, Sang-Hyun Kim**, Young-Seok Kim***

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

Abstract - We show results that examine about electrical properties of XLPE insulated 6.6kV cable termination by mechanical damage. The cable used to produce the cable termination is 6/10kV tray XLPE fire retardant electric cable (6/10kV TFR-CV 35SQMM×1C) which is domestically made. We apply force to XLPE insulator and made mechanical defect using knife. Defected samples go through the withstand voltage test according to the IEEE std. 48 test regulations and lightning impulse (hereunder, IMP) withstand voltage test regulations. Then the effects of the scars shown during the construction process on electric accidents at the end part are analyzed.

브를 끼워 놓고 내부의 플라스틱 코어를 잡아 뽑으면서 시공한다. 열수축형은 전계완화 튜브를 사용하여 전기적 스트레스를 접촉 부위에 완화시키며 열 수축 튜브를 토치 등으로 가열하여 튜브를 수축시켜 시공한다. 이들 종단접속재를 이용하여 케이블을 종단처리 할 때 시공자의 숙련도에 따라 또는 실수에 의해 여러가지 시공불량이 발생할 수 있다.

1. 서 론

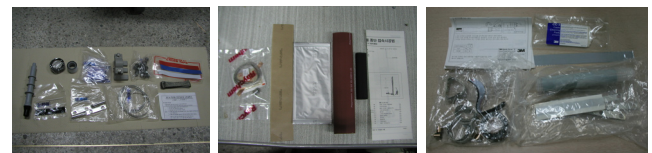
1998년 입법논의가 된후 2002년 7월 1일 도입된 제조물 책임(Product Liability; PL)법의 긍정적인 측면은 제조물의 안전성 강화, 소비자의 권익보호 확대, 기업의 경쟁력 강화 등을 들 수 있으며, 부정적인 측면으로는 제조원가의 상승요인, 신제품 개발의 지연, 기업의 이미지 손상 및 부담증가로 이어지게 된다. 또한 중기협중앙회의 설문조사에서 PL법 시행에 대한 대책을 마련하고 있는 기업은 13.7%이며, PL법 자체를 인지하고 있는 사람은 22.9%, 대응책임 PL보험 가입업체는 불과 9.6%밖에 되지 않아 PL법에 대한 인식이 부족하다는 것을 알 수 있다. 세계시장 이 하나로 통합되는 추세에서 국내기업은 물론 수출기업들은 PL법 대응에 자유롭지 못한 사항이며, PL법 적용 시에는 고액배상의 책임을 지는 어려움에 당면해 있다. 따라서 PL법의 효과적인 대응방안이 중요하며, 결합 부준제에 대한 기업의 입증책임, 피해자의 결합 입증능력 제고 및 기업의 사회적 책임이 강조되고 있다. 최근에는 정부, 기업, 소비자 모두 관심에서 약간 멀어지는 추세를 보이고 있지만, PL사고에 대한 매스컴의 보도 증가와 제품안전에 대한 소비자의 문제의식 등 제품안전 대책이 기업의 중요 관심사로 안전한 제품 생산에 따른 판매 경쟁력 향상을 이어질 것으로 판단된다. 또한 PL법 환경에서 전기산업분야 사고에 대한 인식을 확고히 하고 PL분쟁에 따른 정확한 사고원인규명과 처리기준에 대한 자료제시가 필요하다.

하지만, 현재 배전용 케이블의 종단부에서 발생하는 사고에 대하여 제조물책임법(Product Liability Law) 사고 처리 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 종단부에서 사고가 발생할 경우 법적 분쟁의 발생이 필연적임으로 종단부에서 발생한 기존에 사고를 철저히 분석하여 시공불량을 도출하고 이를 모의한 시료의 전기적 사고특성을 분석·데이터 베이스화 하여 향후 종단부에서 사고가 발생하였을 때 사고원인을 추정할 수 있도록 해야 할 것이다. 현재 사용되는 케이블의 종단접속재별 시공공정상 발생할 수 있는 결함을 분석하고 그중 기계적 결함합을 모의한 시료를 제작하여 케이블과 종단부의 전기적 사고에 미치는 영향에 대하여 조사·분석하였다[1,2]. 실험결과를 바탕으로 배전급 케이블의 종단부에 발생하는 전기적 사고의 책임을 명확하게 함으로써 향후 PL법 사고처리 시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 시료제작

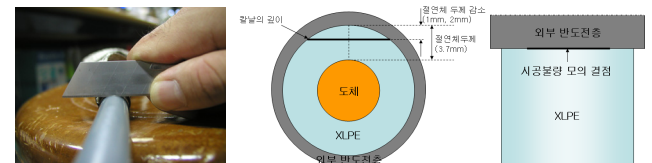
케이블 종단에 사용되는 종단접속재(cable termination)는 케이블 양끝의 절연 보강 및 전계를 완화시키는 접속재로서 작업 방법에 따라 조립형, 자기수축형, 열수축형으로 구분한다. 조립형은 케이블의 외부 반도전층 침단부에 집중되는 전기적 스트레스를 스트레스크를 사용하여 전계를 완화시키고 전기 특성이 우수한 절연 재료인 폴리머(polymer)로 성형된 날개의 날개(skirt)를 차례로 조립하여 시공한다. 자기수축형은 전계 완화 튜브를 사용하여 전기적 스트레스는 완화시키고 자기 수축 튜



(a) 조립형 (b) 열수축형 (c) 자기수축형

〈그림 1〉 종단접속재

시료를 제작하기 위해 케이블을 교류 전압 시험용은 80cm, 뇌 충격 전압 시험용은 100cm로 절단하고 각 공정에 따라 발생할 수 있는 결점을 만들고 조립형, 열수축형 그리고 자기수축형 종단재를 이용하여 케이블 양쪽 끝을 종단처리 하였다. 절연체의 두께 감소는 1mm와 2mm로 각각 하였으며 반도전층을 박피하는 시공상 발생할 수 있는 부분인 반도전층이 끝나는 부분에 칼을 이용하여 절연체의 두께를 감소시켰다. 그림 2는 두께 감소 위치와 방법을 나타내고 있다.



(a) 사진 (b) 개략도

〈그림 2〉 기계적 손상

2.2 실험방법

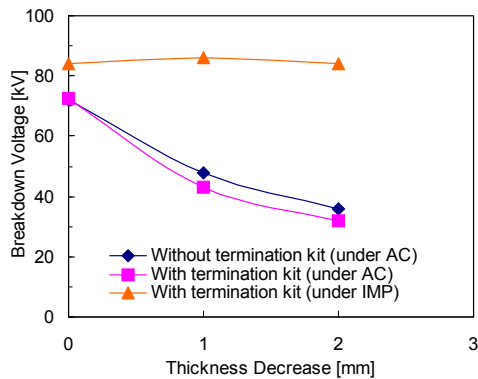
결점이 없이 종단 처리한 시료를 IEEE Std 48-1996(R2003)의 기준에 따라 상용주파 건조내전압시험(교류, 1분) 35kV_{rms} 전압과 충격내전압시험 95kV를 인가하여 내전압 시험을 행하였다. 다음으로 결점을 가진 시료를 제작하여 외부 동차폐층을 접지시키고 도체에 교류 전압을 인가하였다. 교류 전압은 1kV/sec의 속도로 상승시켜 절연파괴가 발생할 때까지 전압을 상승시켰으며 뇌 충격 전압은 28kV에서 시작하여 4kV씩 증가시켜 절연파괴가 발생할 때까지 단계별로 뇌 충격 전압을 인가하였다. 절연파괴가 발생하고 난후 시료를 분해 전·후 관찰하고 절연파괴 홀이 발생한 부분은 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다.

2.3 실험결과

조립형의 경우 교류 35kV_{rms}, 1분 내전압시험에 통과하였으며 절연파괴 시험을 한 결과 72kV, 72kV, 71kV에서 터미널 리저와 접지선사이로 종단재의 표면을 따라 연면으로 방전이 발생하였다. 뇌 충격 95kV 내전압시험에는 통과하지 못하였으며, 28kV에서 4kV씩 전압을 상승시켰을 때 84kV, 86, 84kV에서 종단재의 표면을 따라 연면 방전이 발생하였다. 열수축형의 경우 교류와 뇌 충격 내전압시험을 모두 통과하였으며 교류에서 66kV, 65kV, 67kV와 뇌 충격에서 124kV, 104kV, 116kV로 각각 나타났다. 자기수축형은 또한 교류와 뇌 충격 내전압시험을 모두 통과하였으며 교류에서 65kV, 63kV, 63kV와 뇌 충격에서 96kV, 108kV, 104kV 전압에서 연면형태의 절연파괴가 발생하였다.

2.3.1 조립형

그림 3에 보듯이 두께가 1mm 감소할 때 교류 전압에서는 43kV에서 관통절연과파가 발생하였다. 2mm 감소할 경우에는 교류 전압에서 35kV에서 절연체의 관통에 의해 절연과파가 발생하였다. 절연체의 감소가 없는 경우 약 72kV 교류 전압에서 연면방전으로 절연과파가 발생하는 것을 비교하였을 때 절연체의 감소는 절연과파 전압의 감소에 매우 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 절연체의 감소가 없는 경우 연면으로 방전이 나타났지만 절연체의 감소하는 경우 관통으로 방전이 발생하였다. 뇌 충격의 경우 모두 연면으로 방전이 발생하였으며 방전 전압은 두께 1, 2mm 감소시 86kV와 84kV로 각각 나타났으며 두께 감소가 없는 경우와 비교하였을 때 오차범위 내에 있는 전압값으로써 두께 감소의 영향이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 교류 절연과파 혹은 갈자국을 따라 타원 형태로 발생하였다. 결함이 없을 때 원의 형태를 나타내는 것과 비교했을 때 큰 차이를 나타내는 특징이라 할 수 있다. 그리고 뇌 충격 방전 흔적을 관찰한 결과 절연테이프의 파손이 관찰되었다. 그림 4에 두께 1mm 감소시 교류절연과파 흔적을 나타낸다.



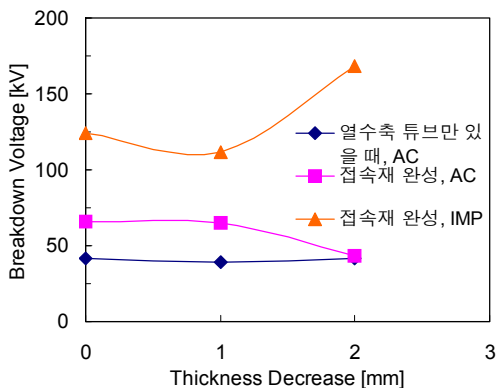
〈그림 3〉 조립형의 두께감소에 따른 절연과파전압



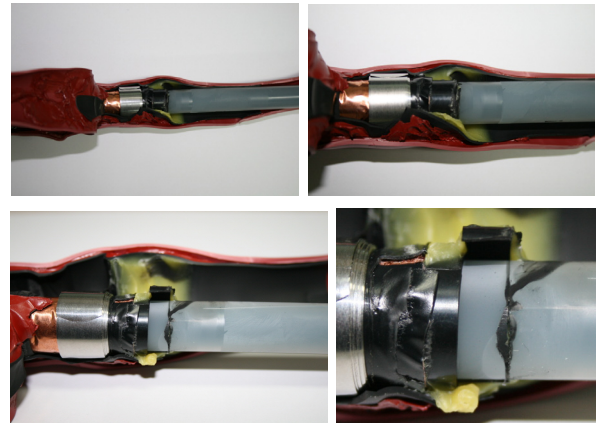
〈그림 4〉 조립형의 교류 절연과파 흔적

2.3.1 열수축형

그림5에 보듯이 열수축형의 경우 두께가 1mm 감소하여도 그 감소폭은 크게 나타나지 않았는데 이는 스트레스 제어 튜브를 열 수축하는 동안 스트레스 제어 마스틱이 녹아 결점을 보완하는 것으로 사료된다.



〈그림 5〉 열수축형의 두께감소에 따른 절연과파전압

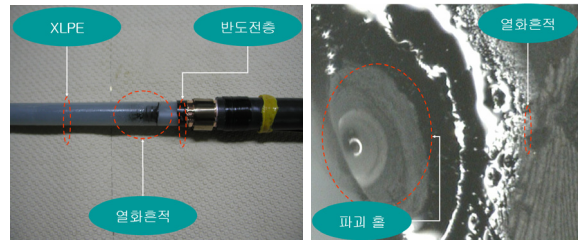


〈그림 6〉 열수축형의 교류 절연과파 흔적

하지만 두께가 2mm 감소한 경우에는 43kV로 절연과파 전압이 매우 낮게 나타났다. 뇌 충격 전압에서는 약 118kV 정도로 높게 나타났다. 뇌 충격 전압을 인가한 경우 두께 감소의 영향 없이 공기 중 연면방전으로 절연과파가 발생하였다. 교류 전압을 인가한 경우 절연과파는 절연체가 감소한 부분에서 발생하였으며 열화에 의하여 형태는 거의 변하지 않았다. 뇌 충격 전압에 의해 절연과파가 발생하였을 때는 절연체의 표면을 따라 튜브 내부로 연면방전이 발생하였으며 내부 표면에 심한 열화 흔적이 관찰 되었다. 이때 전압은 168kV로 매우 높게 나타났다. 하나의 시료만으로 전체적으로 절연과파 전압이 높아진다고 판단하기 어렵고 내부에 전압 분배에 의해 전계집중이 완화되어 파괴 전압이 높게 나타난 것으로 사료된다. 그림 6에 교류 전압인가시 절연과파 흔적을 각각 나타낸다.

2.3.1 자기수축형

두께 1mm 감소하였을 때 자기수축형의 경우 교류 62kV에서 연면 방전이 발생하였으며 교류 66kV에서 관통 절연과파가 발생하였다. 열화가 심하게 발생하였으며 타원형의 절연과파 홀이 관찰 되었다. 뇌 충격 108kV에서 연면방전이 발생하였으며 터미널 리그 부분과 절연체가 만나는 부분에서 관통 흔적이 관찰 되었다. 그림 7에 교류 와 뇌 충격 전압 인가 시 절연과파 흔적을 나타낸다.



〈그림 7〉 자기수축형의 교류 절연과파 흔적

3. 결 론

6.6kV 케이블의 중단부의 시공과정에서 발생할 수 있는 기계적 손상을 모의하여 실험한 결과 두께 감소에 의해 조립형은 절연과파 전압이 매우 낮게 나타났다. 절연과파는 두께가 감소된 갈 자국에서 발생하였으며 절연과파 형태는 타원으로 다른 결점으로 인한 형태와 비교되는 큰 특징이다. 열수축형의 경우 1mm일 때 교류는 감소가 없는 경우와 유사하게 나타났는데 이는 스트레스 제어 마스틱이 녹아 절연체가 감소된 부분을 완화 시켜준 것으로 사료된다. 2mm인 경우 절연과파 전압이 매우 낮게 나타났다. 자기수축형의 경우 1mm 감소시 절연내력의 저하가 나타나지 않았다. 위의 내용에서 보듯이 절연체가 감소됨에 따라 절연내력이 현저히 저하되었으며 장시간 운전 중을 고려한다면 작은 절연체 감소라도 케이블의 절연내력에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유양근, “지중 케이블 접속재 시공”, 월간전기설비지, 10월호, pp.40-45, 2001
- [2] 한계홍, 이병성, 김상준, 이철호, 김상욱, 김용애, “배전용 케이블 중 단접속재의 경년특성”, 대한전기학회, 권호 48(8), pp. 480-486, 1999