

초고압용 조립형 접속함 모의계면에서 압력에 따른 절연파괴 및 부분방전 특성

김정년*, 백주흠, 신두성, 이창영, 김충식, 김동욱, 박완기
LG전선(주) 전력연구실

Breakdown Voltage and Partial Discharge Characteristics
at the Simulated Interface in a Prefabricated Joint for Ultra High Voltage Cable

J.N.Kim*, J.H. Baek, D.S.Shin, C.Y. Lee, C.S.Kim, D.W.Kim, W.K. Park
LG Cable Ltd. Electric Power Research & Technology Center

Abstract: PJB(Prefabricated Joint Box) is consisted of three major components : an epoxy unit, a stress relief cone and a spring unit. The insulation structure of PJB is maintained by the interfacial pressure, and the dielectric performance at the interface depends on the interfacial pressure which is regarded as the most important factor for preventing breakdown failure.

This experiment was performed to investigate breakdown voltage characteristic and partial discharge patterns under the controlled pressure conditions at the simulated interface. Finally, this paper presents the optimal pressure conditions at the interface by analyzing the PD patterns.

1. 서 론

조립형 접속함(prefabricated joint box:PJB)와 같은 초고압 전력 케이블 접속함은 에폭시 유니트, 전계완화콘, XLPE등의 이중의 절연물의 결합으로 이루어져 있다. 이러한 절연물들은 서로간의 계면을 형성하여 이루어져 있고 스프링 압력으로써 전체 절연구조를 유지하고 있다. 계면압은 절연성능에 가장 중요한 파라미터로 최적압력을 유지해야 한다. 초기 조립시 계면 절연의 신뢰성을 확보하고 실통전 중 온도상승에 따른 계면압 변화를 고려하여 최적의 압력을 설정해야만 한다.

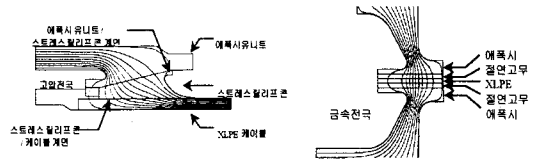
본 논문에서는 실제 접속함의 계면을 모의한 시편상에서 계면압력에 따른 파괴특성을 조사함으로써, 최적의 계면상태를 유지하기 위한 계면압력을 제시하였다. 또한 압력에 따른 부분방전 발생전압, 패턴의 변화, 파괴양상을 조사함으로써 접속함 내부에서 발생하는 부분방전과 계면압력과의 관계를 규명하여 접속함 설계의 기초자료로 이용하고자 하였다.

2. 본 론

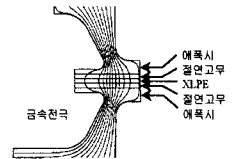
2-1.시험방법

2-1-1. 전극제작

초고압 CV케이블 조립형 접속함 계면은 그림1에서와 같이 에폭시/고무/XLPE/에폭시 계면으로 형성되어 있다. 실제 PJB를 유한요소 해석(FEM: finite element method)에 의해 해석한 등전위 분포는 그림 1과 같이 계면에서 전계는 계면 방향으로 형성되므로 이를 모의한 실험 전극도 계면방향으로 전계가 형성되는 구조를 가지도록 제작하였다. 이렇게 제작된 전극에 고무 시트와 XLPE시트를 적층하여 유한요소해석을 선행한 결과 그림2와 같은 전계 분포를 가짐을 확인하였다.



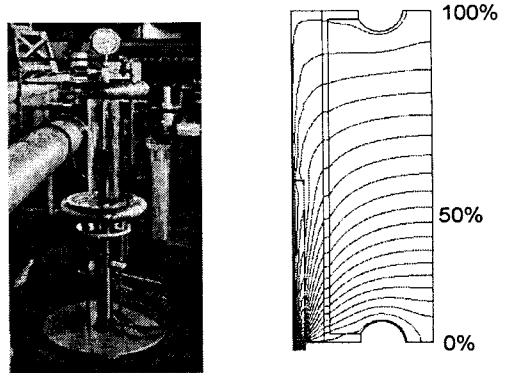
[그림1] 조립형 접속함 계면의 등전위 분포



[그림2] 모의 시편의 등전위 분포

2-1-2. 시험장치의 제작

계면 시편시험을 하기 위해 그림 3과 같은 계면시험장치를 제작하였다. 이 시험장치는 고압부의 코로나 방지를 위해 실드링을 설치하였고 아크릴 챔버 내부는 SF₆ Gas로 절연하였다. 또한 유압 장치에 의해 하부로부터 계면에 압력을 가할 수 있도록 설계되었다. 그림4는 아크릴 챔버의 등전위 분포로 시험용기에 SF₆ Gas를 4.5kgf/cm² 채웠을 때 약150kV 까지 전압을 인가할 수 있도록 전계 해석하여 설계하였다.

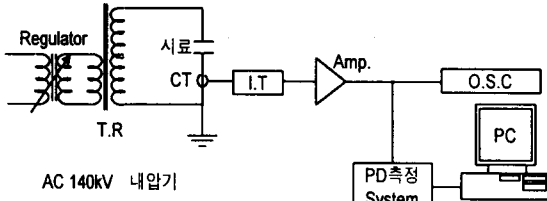


[그림3] 계면시험장치 및 전극구조 [그림4] 등전위 분포

시편의 조립은 전극 및 시료의 표면을 솔벤트를 이용하여 깨끗이 닦은 다음 실리콘 오일을 균일하게 도포하고 난 후 시료를 장치에 세팅하였다. 이 후 시험 계면 압력까지 유압 펌프로 압력을 가하고 챔버 내를 진공펌프로 약 10분간 진공시킨 후 SF₆ Gas를 주입하였다.

2-1-3. PD측정 장치

본 실험에서 PD측정은 PD사의 ICM system을 이용하여 그림 5에서와 같이 접지측에 CT를 설치하여 접지선에 흐르는 PD전류 펄스를 검출하였고 이 때의 압력변화에 따른 시험조건은 표1과 같다.



(그림4) PD측정 등가회로

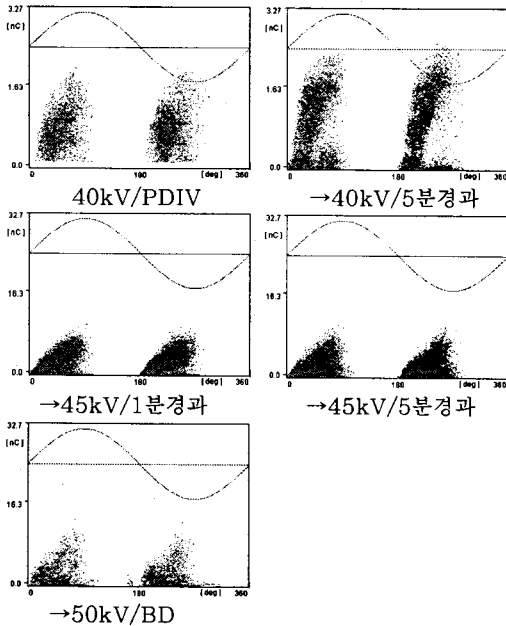
표 2. 시험조건

조 건	
챔버내의 진공도	약 0.01torr
챔버내의 가스압	4kgf/cm ²
계 면 압 력	2.45, 5.5, 6, 6.5, 8kgf/cm ²
전압인가조건	10kV-45kV ⇒ 45kV/1min 50kV-BDV ⇒ 45kV/5min
측 정 시 간	조립 후 10분 경과 후

2-2. 계면압력에 따른 PD 및 BDV특성

1) 2kgf/cm²이하 일때

면압 부족인 경우 그림5와 같은 방전패턴을 보인다. 계면압이 2kgf/cm²인 경우 계면의 밀착성이 좋지 않아 계면에 밀폐 보이드가 존재하게 되고 이것이 보이드 방전패턴으로 나타나는 것으로 판단된다. 계면압력 2kgf/cm²에서 3회 시험을 실시한 결과 파괴 전압 50kV, 45kV, 50kV로 비교적 낮은 전압에서 파괴되었다.



(그림5) 계면압력 2kgf/cm²에서 PD패턴

방전의 크기는 전압상승에 따라 줄어드는 경향을 보였으며 위상의 이동은 없었다.

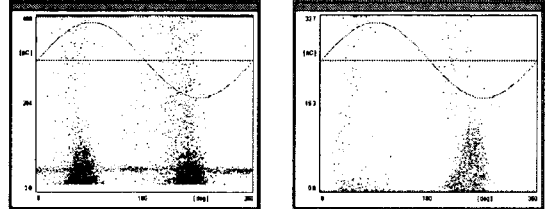
2) 4~6kgf/cm²일때

계면압력이 4~6kgf/cm²인 경우 파괴전압에서 부분

방전이 개시한 후 수 초 이내 파괴로 진전하는 양상을 보인다. 그 때 방전 크기는 수십 nC 수준으로 파괴되는 순간에 포착한 PD패턴은 그림6과 같다.

이 압력범위에서는 파괴전압 전까지 방전이 발생하지 않다가 파괴전압에서 더 이상의 전계를 견디지 못하고 PD가 발생하는 즉시 파괴로 이어지고 있다.

계면압력 4kgf/cm²일 때 파괴전압은 70kV, 60kV, 65kV였고 계면압력 6kgf/cm²에서는 100kV, 100kV, 105kV로 계면압력상승에 따라 파괴치가 높아짐을 알 수 있었다.



계면압력 4kgf/cm²

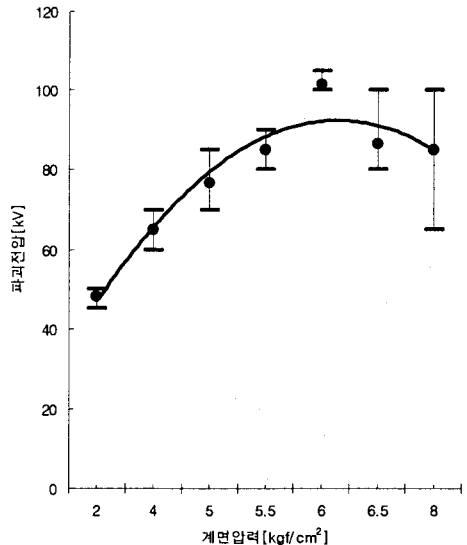
계면압력 6kgf/cm²

(그림6) BD 직전의 PD패턴

3) 8kgf/cm²이상 일때

계면압력 8kgf/cm² 시험에서 파괴전압은 100kV, 90kV, 65kV에서 각각 파괴되었다. 8kgf/cm² 이상의 계면압력이 시료에 가해진다면 오히려 파괴전압은 낮아지는 경향을 보였다. 실제로 계면의 과압력은 실케이블 통전시 온도상승으로 인해 케이블 절연체에 변형을 초래해서 오히려 케이블 절연성능을 저하시키는 요소로 작용하기도 한다. 이러한 이유로 실제 계면압력 설계시 4kgf/cm²~7kgf/cm²로 설계하고 있다⁽⁴⁾.

이상에서의 계면압에 따른 파괴전압 관계를 그림7에 나타 내었다. 계면압력에 따른 파괴 시험시 압력의 AC 파괴값의 포화점을 찾기 위하여 5, 5.5, 6, 6.5kgf/cm²의 계면압에 대해 3회씩 추가시험을 수행 하였다. 아래 그림7은 가 압력에 따라 3회한 것 중 최소, 최대, 평균값을 나타내었다. AC파괴값은 6kgf/cm² 이하에서는 전압에 따라 증가하다가 6kgf/cm²에서 포화되어 6.5kgf/cm² 이상이 될 경우 AC파괴값이 낮아졌다.

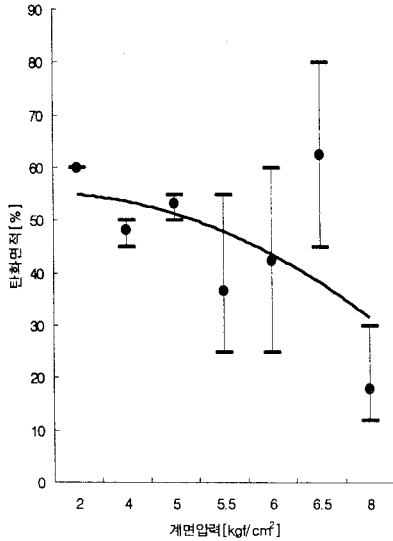


(그림7)계면압력에 따른 BDV특성

그림8에서 파괴된 시료의 에폭시 전극면에서 탄화면적

과 계면압력관계를 나타낸 것이다.

탄화면적은 계면압이 높을수록 더 좁은 반면 파괴흔적(깊이)이 깊게 나타났다. 계면에 압력을 가할 때 시료에 가해지는 압력이 상대적으로 낮은 부분과 높은 부분으로 존재하게 된다. 이때 계면압력을 높게 가한다면 시료에 가해지는 압력이 낮은 부분이 상대적으로 작아져서 파괴면적이 작아지는 반면, 파괴시 에너지가 한 곳으로 집중되기 때문에 파괴흔은 더 깊게 나타난다고 판단된다.



[그림8] 계면압력에 따른 BDV 특성

3. 결 론

본 논문은 조립형 접속함(PJB)의 고체 절연체 이중 계면을 모의한 시편 시험에서 계면압력에 따른 방전의 형태 및 파괴전압을 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 계면압력 변화에 따른 절연파괴 특성은 6kgf/cm²에서 포화되며 그 이상의 계면압이 가해질 경우 오히려 파괴전압이 낮아지는 것을 확인하였다.
2. 면압 부족일 경우에 계면 밀착성이 좋지 않아 계면에는 밀폐 보이드가 존재하고, 방전패턴은 보이드 패턴으로 나타났다. 계면압력이 적당한 경우 방전 패턴은 관찰할 수 없었으며 PD가 개시되는 순간 파괴로 이어지는 양상을 보였다. 파괴시 방전 크기는 수십nC으로 증가하였다.
3. 조립 후 시간이 48시간이 경과한 경우 계면이 안정화되기 때문에 전 계면에 걸쳐 압력이 골고루 분포되어 파괴시 전 계면으로 파괴되며 파괴전압 또한 상당히 높게 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] 久野 浩, 外 “固體絶縁體界面を模擬した電極系による部分放電劣化特性の検討”. 1997年電氣學會誘電・絶縁材料研究會.DEI-97-42. pp.85~90. 1997.2.
- [2] 劉 勤民, 外 “絶縁體界面の空隙に連なるボイドにおける部分放電特性”. 1997年電氣學會誘電・絶縁材料研究會.DEI-97-61. pp.55~60. 1997.6.
- [3] 内田克己, 外 “CV케이블接續部缺陷の部分放電及び絶縁破壊特性”. 電學論B, 115卷10号. pp.1185~1189. 95.10.
- [4] 백주홍, “초고압 CV케이블용 조립형 직선 접속함에서의 Stress Cone계면압력 최적화에 관한 연구”, 98년 대한전기학회 학계학술대회, 1998

2-3 조립 후 시간경과 효과

조립 후 시간경과에 따른 파괴전압의 변화를 알아보기 위해서 조립 후 48시간 경과한 후에 전압을 인가하여 파괴시험을 수행하였다.

조립 후 시간경과의 영향이 PD와의 상관관계를 밝히기 위해 계면압은 PD가 발생하는 2kgf/cm²로 계면압을 가하였다. 48시간이 경과 한 시료에서는 PD가 발생하지 않았으며 그림9의 b와 같이 전극 전면으로 파괴되었다.



(a) 조립직후(10분 경과) 파괴흔 (b) 48시간 경과후 파괴흔

[그림9] 2kgf/cm² 계면압에서 파괴된 시료

또한, 조립직후 시험한 시료의 파괴전압은 평균 48.33kV인데 반하여 시간 경과후의 파괴전압은 80kV로 1.66배 높은 전압에서 파괴되었다. 그림9의 (b)와 같이 파괴흔이 계면 전면에 나타난 것은 계면전체가 매우 안정화되었다는 것으로 사료된다. 조립직후 시험을 하면 상대적으로 압력이 강한 부분과 약한 부분이 발생되며 파괴는 그림9의 (a)와 같이 계면 압력이 약한 부분으로 진행된다. 계면이 안정화된 상태 즉, 모든 계면에서 동일한 압력을 받고 있는 상태에서 파괴전압에서 전면으로 파괴되는 양상을 보인다. 본 시험을 통하여 조립 후 계면의 안정화 시간을 주는 것은 계면상태를 향상시킨다는 것을 확인할 수 있었다.