

온도에 따른 케이블 직선 접속재 모델링 EPOXY/EPDM 계면의 파괴 특성에 관한 연구

A study on analysis of interfacial breakdown properties with variable temperature in straight cable joint modeling EPOXY/EPDM interface

배덕권^{*} 정인재^{**} 김상결^{*} 정일형^{*} 이준웅^{*}
광운대학교 전기공학과
일진 산전

Bae, Duck-Kweon^{*} Jung, In-Jae^{**} Kim, Sang-Keol^{*} Jung, Il-Hyung^{*} Lee, Jung-Ung^{*}
Dept., of Electrical Eng., Kwangwoon University
Iljin Electric Industries Co. Ltd

Abstract

In power cable joints, the interfaces of two different dielectric materials are inevitable. In addition, the interfacial breakdown between two internal dielectric surfaces represents one of the major causes of failure for power cable joints. We chose epoxy/EPDM interface, one of the interface in cable joints, and investigate dielectric interfacial breakdown phenomenon. First, design specimen with Flux 2D. Second, find interface condition which has high dielectric strength. Third, investigate interfacial breakdown properties with variable temperature.

Key Word(중요용어) : Straight Cable Joints, Interfacial Breakdown, Epoxy/EPDM Interface, PJs(Prefabricated Joints), Finite Elements Method

1. 서론

전력 수요가 급증함에 따른 송전 전압의 초고압화가 급속히 진행되고 있다.

특히, 대도시 인구 집중 현상에 따른 도심의 대단위 수요 중심지가 형성되고, 도심이라는 특수성에 의한 대용량 지중 전력 케이블의 중요성이 증대되고 있다.

일반적으로 지중 전력 케이블은 그 길이의 유한성으로 접속이 불가피하고, 초고압 케이블 접속재의 재료로 이중 복합 재료가 많이 사용됨에 따라 형성되는 이중 재료간의 계면 성능이 전체 절연시스템의 안정성에 중대한 영향을 미친다.

따라서 본 논문에서는 케이블 접속부에 형성되는 계면 중 EPOXY/EPDM 계면을 인위적으로 형성하여 그 파괴 특성을 조사하였다. 시편의 설계에는 유한 요

소법을 이용한 시뮬레이션 프로그램인 FLUX2D를 이용하였다. 실험을 통하여 계면압, 계면의 표면 거칠기 등의 최적 조건을 찾고, 그 조건하에서 온도변화에 따른 계면의 절연 파괴 특성을 연구하였다.

2. 실험

2.1 Prefabricated Joints(PJs)

케이블 직선 접속함(Straight Cable Joints)에는 Tape Joints(PJs), Tape Molded Joints(TMJs), Extrusion Joints(EMJs), Premolded Joints(PMJs) Prefabricated Joints(PJs) 등이 있다.[1],[3],[7] 이 중 extra-high-voltage(EHV) 전력 케이블 접속함에서 EMJs가 우수한 성능을 보이나, 케이블 접속 시 많은 시간과 고도의 접속 기술을 요하는 단점을 가지고 있어, 케이블 접속함의 부품을 공장에서 생산하여 일정한 수준의 품질을 유지하고 케이블 접속 시

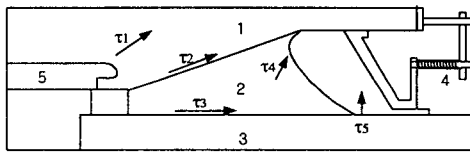
간도 단축할 수 있는 조립형 접속함을 많이 사용하고 있다.[1],[2]

조립형 접속함에는 PMJs와 PJs가 있으며 이 중 계면의 압력을 일정하게 유지할 수 있는 PJs가 더 적합하다고 할 수 있다.[1],[5],[8]

PJ는 그림 1에 나타나 있는 것처럼 슬리브, 스트레스 콘, 에폭시 유니트, 매입 금구, 스프링 압축 장치 등의 부품을 미리 제작하여 케이블 접속 시 부품을 조립한다. 조립을 함으로써 계면이 필연적으로 발생되는데 이 계면 중 절연재료간의 계면으로는 Epoxy/EPDM 계면과 EPDM/XLPE 계면 등이 있다. 본 논문에서는 이 계면들 중에서 Epoxy/EPDM 계면을 인위적으로 구성하여 그 파괴 특성을 연구하였다.

그림 1의 화살표 τ_n 은 각 부분에서의 전계 방향을 나타내고 있는데 Epoxy/EPDM 계면에서의 전계 방향은 계면의 길이 방향임을 알 수 있다.

그림 2는 PJs 내부의 등전위선 분포를 유한 요소법을 사용하여 나타내었다.



번호	부품명	번호	전계 방향
1	에폭시 유니트	τ_1	에폭시 유니트
2	스트레스 콘	τ_2	에폭시 스트레스콘 계면
3	케이블 절연	τ_3	스트레스콘 케이블절연 계면
4	스프링압축장치	τ_4	스트레스 콘
5	매입 금구	τ_5	절연

그림 1. PJ의 기본 구조
Fig. 1. Basic Construction of the PJ

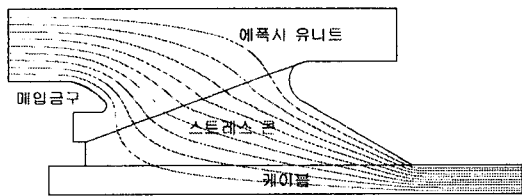


그림 2. PJ의 등전위선 분포
Fig. 2. Equip-Potential Line of PJ

2.1 시험편의 설계

시험편은 Epoxy/EPDM 계면 방향으로 전계를 구성하도록 유한요소법을 사용하여 설계하였다. 전극으로는 3.96mm의 스테인레스 구전극과 지름 1mm의 원통 전극을 결합하여 에폭시 속에 삽입하였다.

그림 3에서 시험편의 형상과 유한요소법을 사용한 시험편의 등전위선을 나타내었으며, 그림 4에서는 Epoxy/EPDM 계면의 전계 벡터를 나타내었다.

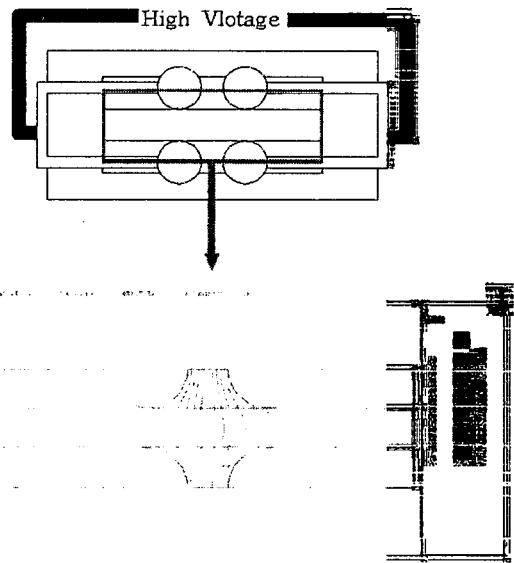


그림 3. 시험편과 등전위선
Fig. 3. Specimen and Equip-Potential Line of Specimen

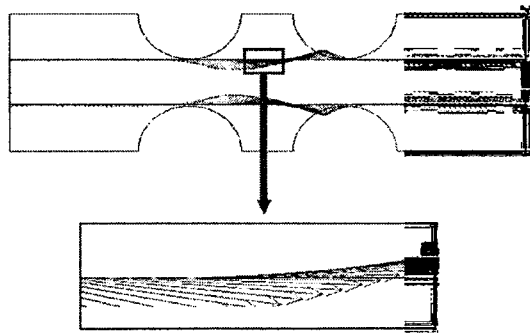


그림 4. Epoxy/EPDM 계면의 전계 벡터
Fig. 4. Boundary Vector of Epoxy/EPDM Interface

그림 4에 나타나있듯이 전극 사이의 중간 지점에서 100% 수평 성분의 계면 전계가 형성되고있으며 이 부분이 전계가 가장 집중되는 절연 취약 부분이다. 이 부분의 전계는 1kV 인가 시 0.298kV/mm인 것으로 계산되었다.

2.2 시험편의 제작

본 실험에서는 Bisphenol-A형 Epoxy와 EPDM을 사용하였다. 에폭시는 CIBA-GEIGY사의 Araldite F(Viscosity: 9,000~13,000mPas at 25°C, Epoxy content: 5.2~5.35 equiv/kg, Density: 1.15~1.20g/cm³ at 25°C, Flash point: >200°C)와 산무수물 계통의 경화제인 MeTHPA(Methyl Tetra Hydro Phthalic Anhydride)를 사용하였으며, 충격강도와 인장강도를 개선시키기 위하여 가소성 부여제를 소량 첨가하였다. EPDM은 초고압 접착재용으로 Stress cone으로 사용되는 제품으로써 대한전선에서 제작하였다.

그림 5에서 시험편의 구조를 보여주고 있다.

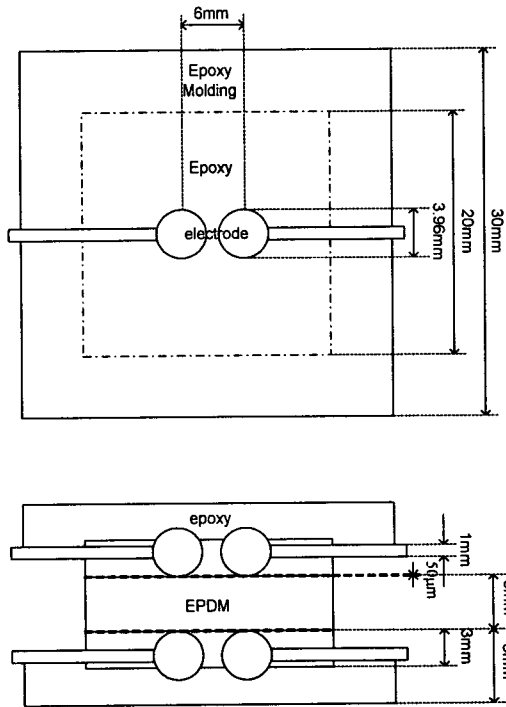


그림 5. 시험편의 구조

Fig. 5. Structure of Specimen

2.3 계면의 절연내력 측정

계면 절연파괴실험은 PULSE ELECTRONIC

ENGINEERING Co., LTD.의 IVG-600A를 사용하였으며 인가 전압으로는 AC를 사용하였다.

계면 절연 내력 측정 장치는 테프론 등의 절연재료를 사용하였으며, 계면압인가를 위하여 Air Compress System을 제작 구성하였다. 그림 6에 이 장치의 구조를 나타내었다.

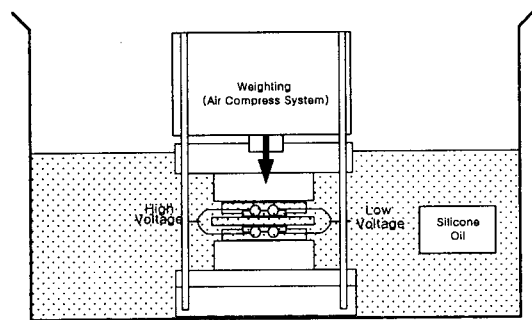


그림 6. 계면 절연 내력 시험 장치

Fig. 6. Experimental Apparatus for Interfacial Dielectric Strength Tests

절연 파괴 실험은 ASTM D 149-95a의 Method A, Short-Time Test를 따랐으며 Current Setting 10mA, 승압속도 500V/s로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 계면압에 따른 계면 교류 절연 내력의 변화

Sand paper #1200으로 계면과 전극과의 두께를 50μm로 준비한 시험편으로 계면압을 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7kg/cm²으로 변화시켜가며 절연 내력을 측정하였다. 계면압이 증가함에 따라 계면의 절연 내력이 증가함을 볼 수 있는데, 계면압 5kg/cm²이후에서는 포화됨을 알 수 있었으며, 이때의 전계값은 11.2 kV/mm이다. 그림 7에 계면압에 따른 계면 교류 절연 내력의 변화를 나타내었다.

3.2 계면 상태에 따른 계면 교류 절연 내력의 변화

Sand paper #220, #400, #600, #1200으로 준비한 시험편으로 계면압 5kg/cm²에서 교류 절연 내력의 변화를 측정하였다. 그림 8은 계면 조도에 따른 교류 절연 내력의 변화를 나타내었는데 계면 상태가

거칠수록 파괴 강도가 감소함을 알 수 있다.

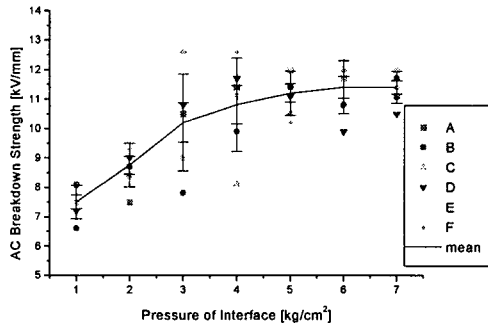


그림 7. 계면압에 따른 계면 교류 절연 내력의 변화
Fig. 7. Variation of the Interfacial AC Dielectric Strength due to Interfacial Pressure

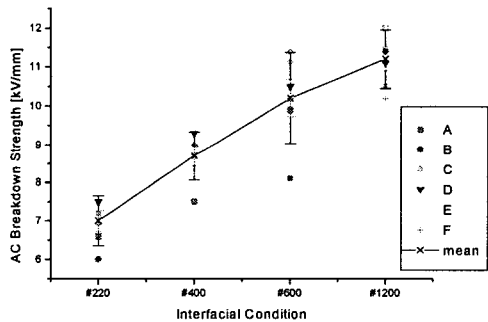


그림 8. 계면 상태에 따른 계면 교류 절연 내력의 변화
Fig. 8. Variation of the Interfacial AC Dielectric Strength due to Interfacial Condition

3.3 온도변화에 따른 계면 교류 절연 내력의 변화

3.1, 3.2에서 나타난 최적 조건(계면압: 5kg/cm², 계면조도: #1200)으로 20, 50, 70, 90, 110, 130, 150°C로 온도를 변화시켜가면서 계면 교류 절연 내력을 측정하였다.

상온의 절연 내력을 기준으로 50°C에서 약 0.9 kV/mm, 90°C에서 약 1.9kV/mm의 감소를 나타내었고, 100°C이후로 많은 감소를 나타내었다. 이는 교류 전계에 의한 열적 파괴에 기인한 것 같다.

그림 9에서 온도변화에 따른 교류 절연 내력의 변화를 나타내었다.

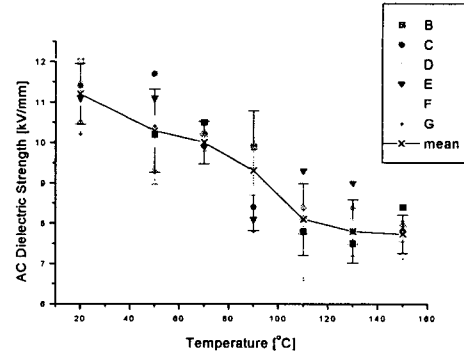


그림 9. 온도 변화에 따른 교류 절연 내력의 변화
Fig. 9. Variation of the Interfacial AC Dielectric Strength due to Temperature

4. 결론

케이블 직선 접속제의 Epoxy/EPDM 계면을 모델링하여 그 계면의 특성을 조사한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 계면의 절연 파괴 특성에서 계면압의 상승과 계면 거칠기의 감소에 따라 절연 내력이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 계면압과 계면 거칠기의 감소에 의해 이중 절연물 사이의 공극 등이 줄어들고, 보이드, 돌기, 이물질 등에 의한 방전의 진전을 억제해주기 때문이라 사료된다. 그러나 계면압의 상승에 의한 절연 내력은 어느 값(본 연구에서는 5 kg/cm²) 이상에서는 포화하는 경향을 나타낸다.
2. 온도 변화에 따른 계면 교류 절연 내력은 100°C 이상에서 많은 감소를 나타내는 것으로 나타났다.

[참고문헌]

- [1] Yutaka Nakanishi "Development of Prefabricated Joint for 275-kV XLPE Cable" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995
- [2] Katsumi Uchida "Study on Detection for The Defects of XLPE Cable Lines" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, April 1996
- [3] C. Dang and D. Fournier "Dielectric Performance of interfaces in Premolded Cable Joints", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, January 1997
- [4] J. Becker "Successful Testing of 345-kV XLPE Cables and Premolded Joints at IREQ" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, April 1997