

Toughened Epoxy/Rubber 계면의 교류 절연파괴 현상에 관한 연구

Study on the AC Interfacial Breakdown Prosperities in the Interface between
Toughened Epoxy and Rubber

김태형*, 배덕권*, 이동규*, 정일형*, 김충혁*, 이홍표**, 이준웅***

Tae-Hyung Kim, Duck-Kweon Bae, Dong-Kyu Lee, Il-Hyung Jung, Hong-Pyo Lee, Chung-Hyeck Kim, Joon-Ung Lee.

Abstract

Recently, complex insulation method is used in insulation system for underground power delivery devices. Considering the interfaces which affect stability of insulation system, By modeling interface between Epoxy and Rubber, AC interfacial breakdown properties with variation of many conditions to influence on electrical properties were investigated .

In this paper, toughened Epoxy and Silicone rubber were used for materials to make interface

Key Words(중요용어) : Toughened Epoxy, Interface, Finite element, Silicone Rubber

1. 서론

전력 케이블의 유한성으로 인한 접속방식이 불가피한데 지중 송전선로의 고장원인을 분석하여 보면 30~50%정도가 접속재와 같은 케이블 부속재에서 일어났음을 알 수 있다. 직선 케이블 접속방식으로 는 TJs(Tapped Joints), PJs(Prefabricated Joints), EMJs(Extrusion Molded Joints)등의 방식이 있다. 성능은 EMJs가 가장 우수하나 고도로 숙련된 시공자가 필요하고 연속적인 긴 시간이 요구되는 단점을 가지고 있다. 이에 반하여 PJs는 부품을 공장에서

미리 생산하기 때문에 일정수준의 품질을 유지할 수 있고 EMJs 보다 짧은 작업시간의 장점을 가지고 있다. 최근에는 기술이 발달함에 따라 EHV(Extra-High-Voltage)에서도 PJs 방식이 사용되고 있다.[1] 그러나 PJS는 이중 절연물간의 거시 계면이 필연적으로 형성된다. 그러므로 이들 계면의 전기적 특성에 관한 연구가 전력전송 시스템의 신뢰성을 위해 필요한 실정이다.

2. 시료제작 및 실험방법

2.1 시료의 설계 및 제작

케이블 접속재의 계면을 평가하기 위한 시료는 1) 계면에 전극이 접촉하여서는 안되고, 2) 계면압을 인가할 수 있는 구조이어야 하며, 3) 계면 거칠기에 따른 효과를 확인할 수 있어야 하며, 4) 계면 접촉 표면에 오일과 같은 액체를 도포하고 이에 의한 효과를 확인할 수 있어야 한다.[2] 이와 같은 조건을 만

*: 광운대학교 전기공학과
(서울 노원구 월계동 447-1 광운대학교)
Fax: 02-912-5144
E-mail: kth0070@emlab2.kwangwoon.ac.kr
**: 수원과학전문대학교 전기과
***: 한국전기전자재료 학회장

족하는 시료를 설계하기 위하여 FEM(Finite Elements Method)을 이용하였다. 그림 1은 FEM에 의한 시료의 등전위선을 나타내며, 그림 2는 계면의 전계방향을 나타내고 있다. 전극과 계면 사이의 거리는 $50[\mu\text{m}]$ 로 전극이 계면에 접촉하지 않고, 전극을 삽입한 에폭시 시료와 Silicone rubber를 접합함으로써 계면압을 인가할 수 있고 동시에 거칠기에 대한 효과와 오일을 도포할 수 있는 구조이다.

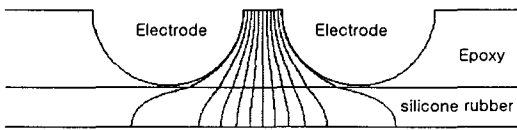


그림 1. 시료의 등전위선
Fig. 1. Equipotentials of specimen

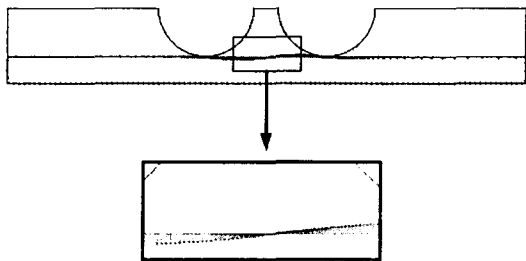


그림 2. 계면의 전계 벡터도
Fig. 2. Boundary vector diagram of interface

그림 3은 모의 설계를 바탕으로 제작한 시료의 구조를 나타내고 있다.

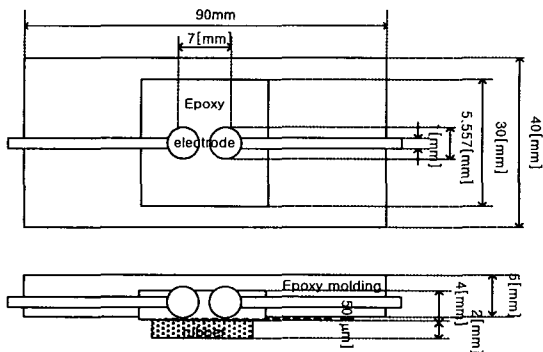


그림 3. 제작된 시료의 구조
Fig.3 structure of specimen

전극은 $5.557[\text{mm}]$ 의 스테인레스구와 $1[\text{mm}]$ 의 구리 선을 결합하였으며 1차 몰딩 후 전극과 계면사이의 간격을 $50[\mu\text{m}]$ 로 일정하게 하기 위하여 #1200의 사포로 표면을 처리하고 노출된 전극부분으로 발생할 수 있는 연면파괴를 방지하기 위하여 이 부분을 에폭시로 다시 한 번 몰딩하여 에폭시 시료를 완성하였다.

2.2 사용시료

본 실험에 사용된 에폭시 수지는 CIBA-GEIGY 사의 high toughness epoxy resin인 XB5995를 사용하였으며 경화제는 Anhydride계인 XB5996을 사용하였다.

Silicone rubber는 초고압용 접속재용으로 사용되는 제품을 사용하였다.

2.3 실험방법

PULSE ELECTRONIC ENGINEERING Co., LTD.의 IVG-600A로 상용주파수의 교류 전압을 인가하였다. 실험방법은 ASTM D149-95a를 바탕으로 승압속도 $1[\text{kV/s}]$, 전류설정 $10[\text{mA}]$ 로 시료가 파괴될때까지 승압하여 그 전압을 기록하였다. 각 조건당 10회의 실험을 행하여 그 평균을 절연파괴값으로 하였다.

그림 4는 시험장치의 개략도를 보여주고 있는데 Teflon, Acetal 등의 절연 재료를 사용하여 계면압 인가와 온도변화를 할 수 있는 장치를 제작하였다.

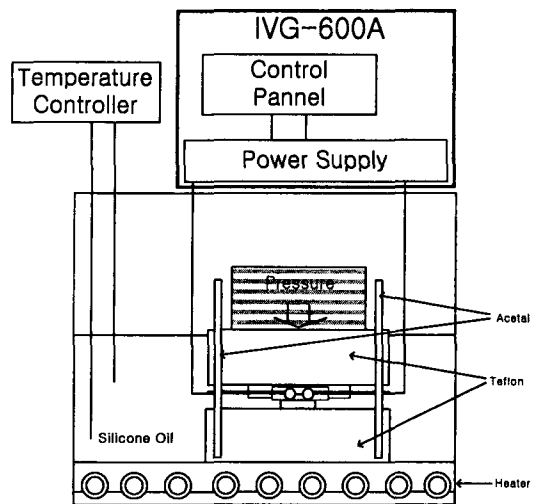


그림 4. 계면 절연 파괴 시험장치
Fig. 4. Interfacial breakdown Tester

3. 실험결과 및 고찰

3.1 계면압에 따른 교류 계면 절연파괴 전압 변화

그림 4에 상온에서 측정된 계면압 변화에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화를 나타내었다. #1200의 sandpaper로 접촉표면을 처리하였다.[3] 계면은 그 표면의 거칠기에 의해 보이드, 공동 등이 생기게 되는데 이 부분은 기체로 채워져 있으므로 높은 전압이 인가되면 이 부분에서 부분방전이 발생하고 이 현상의 누적으로 계면의 절연파괴가 일어나게 된다.[4] 계면에 압력을 주게되면 이 압력으로 인해 계면내부의 보이드, 공동 등의 수와 전체 체적이 감소하게 되므로 압력이 증가함에 따라 절연내력이 향상되었다고 생각된다. 특히 절연내력이 $5[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 이후에서는 포화되는 경향을 나타내었다.

그림 4, 5, 6, 7의 선은 10개값의 평균 사이를 이은 것이다.

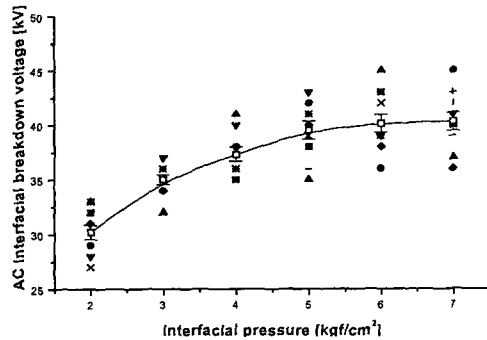


그림 4. 계면압에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화

Fig.4 Variation of the AC interfacial breakdown voltage due to interfacial pressure

3.2 350[cSt] 실리콘 오일을 도포한 시료의 계면압 변화에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화

그림 5는 350[cSt]의 실리콘 오일을 도포한 시료의 계면압 변화에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화를 나타내었다. 오일은 계면 내부의 보이드 공동 등을 채우는 작용을 하는데 기체 보다 높은 부분

방전개시전압을 가지므로 오일을 도포하지 않은 시료보다 높은 절연내력을 가지는 것으로 생각된다. 오일을 도포한 시료도 마찬가지로 압력이 증가함에 따라 절연내력이 증가하였는데 오일을 도포하지 않은 시료 보다 낮은 압력인 $4[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 이후에서 포화되는 경향을 나타내었다.

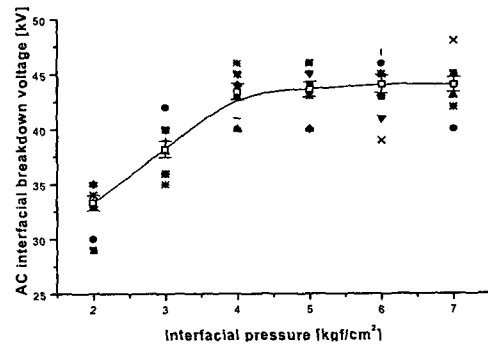


그림 5. 350[cSt] 실리콘 오일을 도포한 시료의 계면압에 따른 교류 계면 파괴 전압의 변화

Fig. 5 Variation of the AC interfacial breakdown voltage of 350[cSt] silicone oiled specimen due to the presence of silicone

3.2 12500[cSt] 실리콘 오일을 도포한 시료의 계면압 변화에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화

12500[cSt]의 실리콘 오일을 도포한 시료는 350[cSt]의 실리콘 오일을 도포한 시료보다 조금 높은 절연파괴전압을 가지는 것으로 나타났으며 이 결과 또한 $4[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 이후에서 포화되는 경향을 나타내었다. Epoxy/EPDM 계면에서는 높은 점도의 실리콘 오일의 흐름특성이 나쁘기 때문에 상온에서의 절연내력은 낮은 점도의 실리콘 오일을 도포한 계면이 우수하다는 연구결과가 있었다.[3] 두 결과에서 오일의 종류에 따른 절연내력 사이에 큰 차이는 없지만 반대의 결과가 나온 것은 EPDM과 Silicone rubber의 특성 차이에서 기인한 것으로 추측되며 차후 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다. 본 실험에 의한 오일차이에 의한 절연 내력의 차이는 계면압 $4[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 을 기준으로 $0.4[\text{kV}]$ 이다

이 결과를 그림 6에 나타내었다.

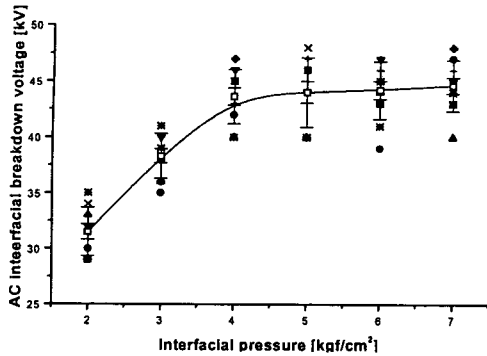


그림 6. 12500[cSt] 실리콘 오일을 도포한 시료의 계면압 따른 교류 계면 파괴 전압의 변화
 Fig. 6 Variation of the AC interfacial breakdown voltage of 12500[cSt] silicone oiled specimen due to the presence of silicone

3.3 온도 변화에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화

그림 7은 온도 변화에 따른 교류 계면 절연파괴전압의 변화를 나타낸 것이다. 오일을 도포하지 않은 시료는 5[kgf/cm²]의 계면압을 인가하였고 오일을 도포한 시료는 4[kgf/cm²]의 계면압을 인가하였다.

온도는 상온에서부터 110[°C]까지 상승시켰으며 20[°C] 간격으로 계면의 절연내력을 측정하였다. 세 가지 경우 모두 온도에 따른 평균적 감소율은 비슷하였다.

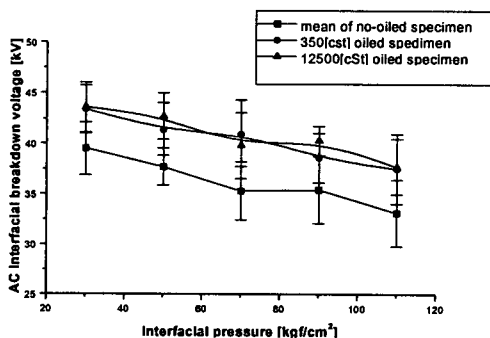


그림 7. 온도변화에 따른 교류계면파괴전압의 변화
 Fig 7. Variation of the AC interfacial breakdown voltage due to temperature

4. 결론

- 1) 계면압이 상승함에 따라 거시계면의 절연내력은 상승하였다.
- 2) Epoxy/Silicone rubber 계면은 12500[cSt]의 실리콘 오일을 도포하였을 경우 가장 높은 절연내력을 가지는 것으로 나타났다.
- 3) 오일을 도포하지 않은 계면은 5[kgf/cm²] 이상에서 포화되는 경향을 보이고, 오일을 도포한 계면은 4[kgf/cm²] 이후에서 포화되는 경향을 나타내었다.
- 4) Epoxy/Silicone rubber 계면의 경우 온도에 따른 절연내력의 감소율은 오일에 많은 영향을 받지 않는다

참고 문헌

- [1] Yutaka Nakanishi et al., "Development of Prefabricated Joint for 275-kV XLPE Cable" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995
- [2] M. Nagao et al., "Model Specimens for Testing Interfacial Electrical Insulating Properties in EHV Extruded Cable Splices and Preliminary Results -Specimen with sphere electrode (EPR-XLPE Interface)-", WG. 15-10, CIGRE 1999 Session
- [3] Duck-Kweon Bae et al, "Dielectric Breakdown Phenomenon of the Interface between Epoxy/EPDM", Journal of the KIEEME. Vol. 12, No. 12, pp. 1164-1171, 1999. 12
- [4] D. Fournier and L. Lamarre, " Effect of pressure and length on interfacial breakdown between two dielectric surfaces," Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Baltimore, MD, USA, pp. 270-272, 7-10, June, 1992