

**Epoxy/EPDM 이종절연물의 계면조건에 따른  
계면절연파괴특성의 분석 및 시뮬레이션에 관한 연구**  
(A study on the analysis and simulation of interfacial breakdown  
properties with interfacial condition in Epoxy/EPDM)

정인재\*, 박성민\*, 김영식\*, 김상걸\*, 장인범\*, 김용주\*\*, 이준웅\*

\*광운대학교 전기공학과

\*\*충주대학교 전기공학과

In-Jae Jung\*, Sung-Min Park\*, Yeong-Sik Kim\*, Sang-Gul Kim\*, Yong-Joo Kim\*\*, Joon-Ung Lee\*

\*Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University

\*\*Dept. of Electrical Eng., Chungju University

**Abstract**

The interfacial breakdown between two internal dielectric surfaces represents one of the major causes of failure for power cable joint. In order to better understand this phenomenon, breakdown experiments were performed for each interfacial condition at Epoxy/EPDM interface found in cable. The specimen were Epoxy resin and EPDM generally used in cable joint. The interface conditions were three parts. First condition was the pressure of interface, we used the value of 1, 2, 3, 4, 5[kg/cm<sup>2</sup>]. For the second condition, the sanding condition was treated with sand paper #220, #600, #1200. Finally, we observed the breakdown according to the presence of silicon oil at the interface.

**1. 서론**

전력계통의 초고압 대응량화에 따라 절연시스템의 구성이 단일재료로만으로는 어려워지고 있다. 이에 복합재료가 많이 사용되는데 재료의 조합에 있어서 다른 종류의 재료사이에 계면이 존재하고 그 계면이 절연시스템 전체의 절연성능에 중대한 영향을 미친다. 따라서 이런 계면의 영향을 연구하기 위해 케이블 재료로서 많이 사용하고 있는 Epoxy 수지와 EPDM을 이용하여 계면을 인위적으로 구성하였으며, 이때 시편의 설계에는 FLUX 2D 프로그램을 이용하였다. 계면의 실험조건은 첫째 계면의 압력의존성, 둘째 계면의 표면거칠기 의존성 및 셋째로 실리콘 절연유를 도포한 경우와 도포하지 않은 경우등 세가지로 실험하여 분석하였다. 이 결과로 최적의 계면조건을 결정하였고, 유한요소법으로 시

뮬레이션하여 계면절연파괴전계값을 구하였다.

**2. 시뮬레이션에 의한 전극설계**

전극의 형상을 다음과 같이 설계하고 이 형상에 대해 FLUX2D를 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다.

절연파괴시편의 형상은 그림 2.1과 같다.

그림 2-1은 해석영역의 등전위선 분포도를 나타낸다. 전극설계시 유의점은 100% 수평성분과 구전극 사이의 절연취약부분이다.

본 전극 형상은 100% 수평성분이 발생하는 점으로부터 정확한 최대계면전계값을 구할 수 있으나, 구전극 사이의 절연취약점의 절연을 반드시 확보해야 하는 문제점이 있다.

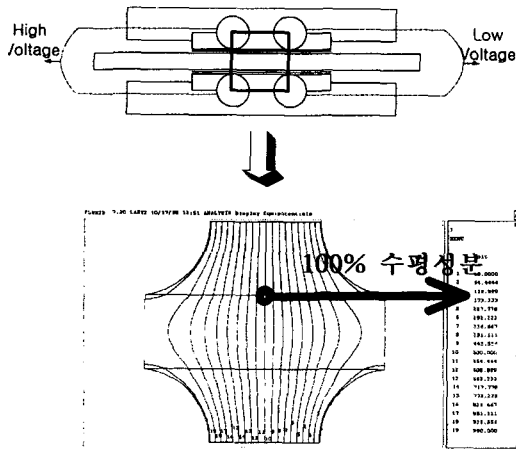


그림 2-1 해석영역의 등전위분포

그림 2-1과 같은 형상의 시편구성을 통하여 100% 계면성분의 전계를 발생시켜 정확한 시뮬레이션을 가능하게 하고자 했다. 시편의 등전위 분포도에서 나타나는 100% 수평성분벡터는 Epoxy/EPDM의 100% 계면성분임을 알 수 있다. 유한요소법으로 시뮬레이션하여 계면성분의 실제 크기를 구하여 1[kV]인가 시에 0.247[kV/mm]의 최대 계면전계값을 얻었다.

### 3. 실험

#### 3.1. 사용시료

본 실험에 사용된 시료는 고온 경화용 주형수지로 비스페놀-A형 Epoxy와 산무수물계통의 경화제 MeTHPA를 사용하여 100[°C]에서 4시간 1차 경화하였다. 그리고 경화물의 충격강도와 인장강도를 개선시키기 위하여 가소성부여제를 소량 첨가하였다.

#### 3.2. 시편제작

시편 제작과정은 다음과 같다. 먼저 기본시편을 만들고, 이 시편을 몰딩한 몰딩시편을 만든다. 마지막으로 이 몰딩시편으로 절연파괴 실험을 할 파괴시편을 만들어 각각의 계면조건에 따라 절연파괴실험을 시행한다.

그림 3-1은 기본시편을 나타낸다.

Epoxy와 경화제를 1:1의 비율로 섞은 후 구전극 2개를 넣어 직경 25[mm], 두께 2[mm]의 기본시편을 제작한다. 이 시편 자체는 그림1의 화살표부근에 구전극사이의 절연취약점이 있으므로 이 부분의 절연을 확보해야 한다. 이 시편을 이용해 몰딩시편을 만든다.

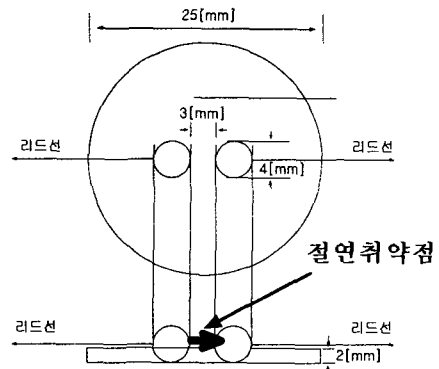


그림 3-1 기본시편의 구조

그림 3-2는 몰딩시편을 나타낸다. 몰딩시편은 리드선 사이의 연면방전을 방지하기 위하여 사방 50[mm], 두께 3[mm]의 직육면체 형태로 넓게 제작하였다.

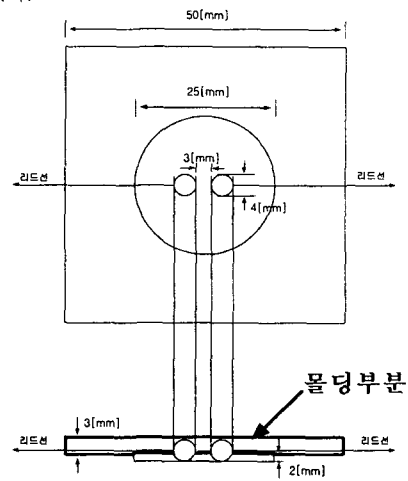


그림 3-2 몰딩시편의 구조

### 3.3. 절연 파괴 실험

그림 3.3과 같이 제작된 몰딩시료를 이용하여 절연 파괴 시편을 구성하였다.

몰딩시편 두 개를 포개어 놓고 그 사이에 EPDM을 삽입하여 Epoxy/EPDM의 계면을 인위적으로 구성하였다.

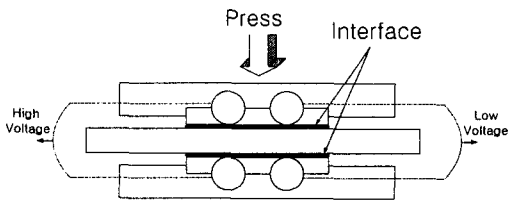


그림 3-3 파괴시편의 구조

또한, 그림 3-4와 같이 절연 파괴 실험장치를 구성하였다. 이 장치는 테프톤등의 절연체로 제작하였다. 절연 파괴 실험장치에 각 계면조건에 따른 계면압을 가하고 상온에서 승압속도 1[kV/sec]로 계면절연 파괴 실험을 시행하였다.

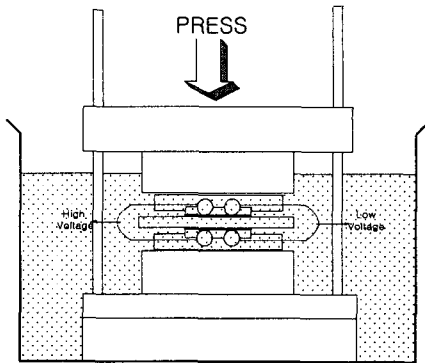


그림 3-4. 절연 파괴 실험장치

## 4. 실험결과 및 검토

### 4.1. 계면압에 따른 계면절연 파괴전압의 변화

그림 4-1은 계면압에 따른 계면절연 파괴전압의 변화를 나타낸다.

sand paper #1200에 가공한 시료를 사용하였다.

계면압이 증가함에 따라 계면절연 파괴강도가 증가함을 볼 수 있다. 계면압이 3[kg/cm<sup>2</sup>]에서 계면절연 파괴강도가 포화함을 관찰할 수 있다. 따라서 본 논문의 시편의 형상에 대한 계면조건 중 최적의 계면압 조건을 3[kg/cm<sup>2</sup>]으로 결정한다.

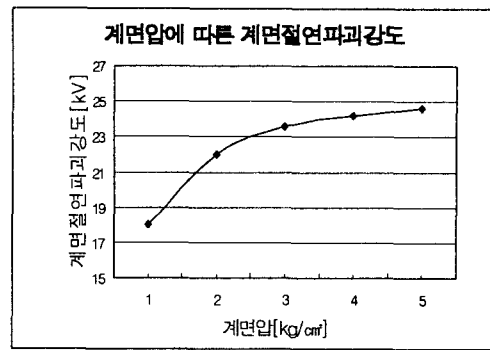


그림 4-1. 계면압에 따른 계면절연 파괴강도의 변화

### 4.2. 계면 조도에 따른 계면절연 파괴전압의 변화

3[kg/cm<sup>2</sup>]의 계면압에서 오일을 도포하지 않은 시료에 대하여 계면절연 파괴 실험을 시행하였다. 그림 4-2는 계면조도에 따른 계면절연 파괴전압의 변화를 나타낸다. 그림 4-2에서와 같이 계면이 거칠수록 계면절연 파괴강도가 감소함을 알 수 있다. 따라서 최적의 계면조도 조건은 #1200에서 가공한 시료로 결정하였다.

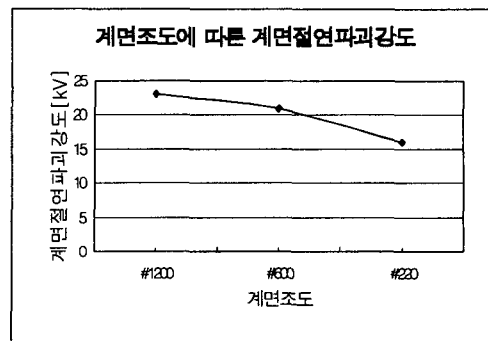


그림 4-2 계면조도에 따른 계면절연 파괴전압의 변화

#### 4.3. 오일도포 유무에 따른 계면절연파괴전압의 변화

그림 4-3은 오일도포 유무에 따른 계면절연파괴 전압의 변화를 나타낸다. sand paper #1200에 가공한 시료를 사용하였다. 그림 4-3에서 볼수 있는 것과 같이 오일 도포에 의해 계면절연파괴강도가 증가하였다. 따라서 오일도포 시를 최적조건으로 결정하였다. 또한, 오일도포 시에는 계면압이  $3[\text{kg}/\text{cm}^2]$  이상에서는 계면절연파괴강도의 변화가 적음을 알 수 있다.

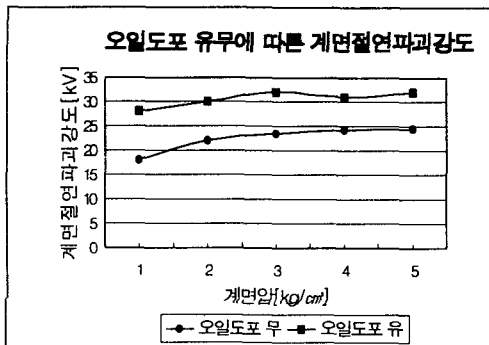


그림 4-3 오일도포유무에 따른 계면절연파괴강도의 변화

#### 5. 결론

먼저 계면조건에 따른 계면절연파괴특성을 분석해 보면,

1. 계면압이 상승하면 절연파괴강도가 상승되지만 어느값에서 포화하는 경향을 나타내었다.  $3[\text{kg}/\text{cm}^2]$ 에서 포화되어 면압이 상승하여도 절연파괴강도의 변화가 적어진다.
2. 계면표면이 거칠수록 절연파괴강도가 낮아진다. 따라서 계면을 매끄럽게 하는 것이 계면절연파괴강도를 높이는 데 중요하다.
3. 실리콘 오일의 도포에 의해 절연파괴강도가 증가하며 계면압에 따른 변화가 적어진다. 이는 오일도포로 계면의 결함이 줄어들고 계면압의 분포도 일정해지기 때문이라고 사료된다.

또한, 계면조건에 따른 계면절연파괴 실험의 결과를 유한요소법으로 시뮬레이션하여 다음과 같은 계면

절연파괴전계를 얻었다.

4. 계면압  $3[\text{kg}/\text{cm}^2]$ , 계면조도 #1200, 오일도포 시를 최적의 계면조건으로 결정하였다. 이때 계면절연파괴전압은  $32[\text{kV}]$ 이다.
5. 시뮬레이션 결과 전극간에  $1[\text{kV}]$  인가시에  $0.247[\text{kV}/\text{mm}]$ 의 계면절연파괴전계를 얻었다.
6. 최적의 계면조건시에 계면에서 발생하는 최대 계면절연파괴전계는  $7.9[\text{kV}/\text{mm}]$ 이다.

본 논문은 Epoxy/EPDM 이중절연물의 계면압, 계면조도, 오일도포유무 등에 대한 계면절연파괴전압과 계면파괴전계값을 Data로 제시하였으며, Epoxy/EPDM 이중절연물의 최적의 계면조건을 결정하였고, 이때의 계면절연파괴전계를 구하였다. 이 Data는 Epoxy/EPDM 이중절연물의 설계시에 유용할 것으로 사료된다.

#### [참고문헌]

- [1] "EFFECT OF THE SURFACE ROUGHNESS ON INTERFACIAL BREAKDOWN BETWEEN TWO DIELECTRIC SURFACES" Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation-Volume 2
- [2] "Effect of surface conditions on the breakdown strength of various dielectric interfaces" 1995 International Symposium on Electrical Insulating Materials
- [3] "Effect of the Interfacial Pressure and Electrode Gap on the Breakdown Strength of Various Dielectric Interfaces" Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation-Volume 2
- [4] D.Fournier and L. Lamarre, "Effect of Pressure and Length on Interfacial Breakdown Two Dielectric Surface," Proceedings of the IEEE International Symposium on electrical Insulation, Baltimore, MD, June 1992, pp. 270-272.
- [5] "유한요소법에 의한 전기기기의 전자기장 해석 및 설계", 기초전력공학공동연구소, pp 6-9(1995)
- [6] 대한전기학회, "전자장수치해석기법현황", 기술조사보고, pp. 3~30, (1992)
- [7] 電氣設備 診斷技術 日本電氣學會 31~34, (1994)