

**에폭시 절연물 매입금구 반도체 접착제 코팅에 따른 특성 연구**

김수연, 하영길, 이상진, 김영성, 박완기, 김성진  
 LG전선(주) 전력연구소, 금오공과대학교

**A Study on Properties of semiconducting paste on metal insert molded in Epoxy compound**

Su-Youn Kim, Young-Gil Ha, Sang-Jin Lee, Young-Seong Kim, Wan-Ki Park, Seong-Jin Kim  
 LG Cable Ltd., Kumoh National University of Technology.

Abstract - Epoxy compound has been used as insulation material in electrical equipment because of its properties<sup>1)</sup> Nowadays, becoming higher voltage system, the properties of interface between epoxy and its metal insert become more important. In this paper, we suggest two types semiconducting paste. One is epoxy type and the other is olephine type. After sprayed the semiconducting paste on metal insert sanded, we procedure the test one is the adhesion strength test, the other is electrical breakdown strength test. So we knew that the epoxy type paste became more higher adhesion strength than olephine type paste because of its homogeneity at the interfaces. And at the breakdown strength test, olephine type paste became less higher than epoxy type paste because of its volatility. So in this study, we suggest the optimum interface condition by adjusting the semiconducting paste and surface roughness.

물계 경화제와 무기질 충전제를 혼합하여 주형작업을 통하여 제작되었다.

Sanding부에 도포한 접착제는 절연부인 에폭시와 동종으로 접착특성이 양호한 에폭시계의 접착제와 경도가 낮아서 용력을 완하시킬 수 있는 올레핀계 접착제를 사용하였다. 시편의 계면구조는 표 1과 같으며 도면상의 점선 부분이 접착제를 도포한 부분이다.

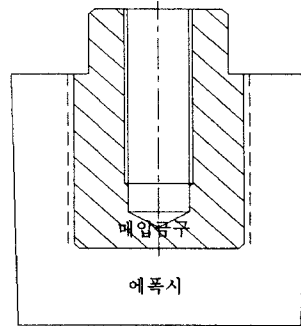


그림 1 기계적 접착강도 시편

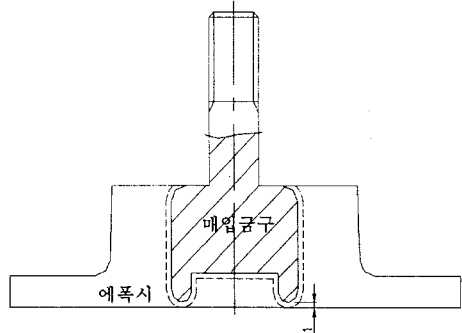


그림 2 전기적 절연파괴강도 시편

**1. 서 론**

전력기기에서 사용되고 있는 에폭시 절연물에서 전극으로 작용하는 매입 금구부와 에폭시 절연물 사이의 계면은 상당히 중요한 의미를 갖고 있다. 특히 초고압화가 될수록 에폭시 절연물의 대형화에 따른 매입금구와의 열팽창률 및 열전도도 차이에 의한 크랙발생 가능성이 점점 커지고 에폭시의 경화 수축에 따른 잔류응력의 증가 등으로 에폭시 매입금구 계면의 중요성은 더욱 커지고 있다<sup>2)</sup>. 따라서 본 연구에서는 에폭시 절연물의 경화수축, 냉각수축 및 열 충격에 따른 응력을 최소화하고 전계를 완하시키기 위하여 매입금구의 표면에 세가지 표면 거칠기로 sanding 처리 후 에폭시 계열과 올레핀 계열의 반도체 접착제를 도포하여 전기적 절연파괴강도 시험과 기계적 접착강도 시험을 실시하였다.

**2. 본 론**

**2.1 시편 제작**

시험에 사용된 시편은 그림 1의 기계적 접착특성 시험을 위한 시편과 그림 2의 전기적 특성 시험을 위한 시편으로 나누어진다. 기계적 특성 시험을 위한 시편은 매입금구의 수직방향에 sanding 처리를 한 후 에폭시 계열과 올레핀 계열의 접착제를 sanding 처리부에 도포하여 수직방향의 기계적 접착특성 시험을 하였다. 전기적 특성 시험의 경우 절연층의 진성파괴치를 측정하기 위해 매입형 전극을 사용하였으며 전극 부위에 sanding 처리 후 에폭시 계열과 올레핀 계열의 접착제를 도포하였다. 그리고 매입금구인 상부 전극과 하부 전극사이의 절연 두께는 1mm로 하였으며 시편의 하부에는 은분을 도포하여 하부 전극과 연결하였다. 시편의 제작에 사용된 에폭시 수지는 비스페놀 A type의 에폭시 수지이며 산무수

표 1. 시편의 계면 구조

시 편	EP-1	EP-2	EP-3	OL-1	OL-2	OL-3
거칠기 ( $\mu\text{m}$ )	미세	중간	조밀	미세	중간	조밀
	5~10	10~20	20~30	5~15	15~25	25~35
접착제	에폭시계			올레핀계		

## 2.2 표면 거칠기 측정

표면의 기복은 기계적인 접착력에서 중요한 의미를 가지기 때문에 피측정면의 직각 방향으로 절단하였을 때 나타나는 면을 의미하는 단면곡선을 적용하였고 측정 방법으로는 표면 거칠기의 산과 골의 깊이를 모두 계산하는 10점 평균 거칠기(Rz)를 사용하였다. 이는 접착강도 시험에서 영향을 미치는 골의 깊이와 절연파괴강도 시험에서 영향을 미치는 산의 높이를 모두 고려하기 위함이다. 그리고 표면 거칠기의 평가 길이는 2.5mm로 하였다. 그림 3은 에폭시 접착제 도포 후 그리고 그림 4는 올레핀 접착제 도포 후 표면의 거칠기를 각각 7회씩 측정하여 나타난 그림이다. 여기서 접착제 도포전의 매입금구 표면 거칠기의 미세 영역은 10~20 $\mu$ m, 중간은 20~30 $\mu$ m, 조밀은 40~50 $\mu$ m의 영역이었으나 도포 후 표면거칠기는 10 $\mu$ m~15 $\mu$ m 정도 낮아진 값을 보여주고 있다.

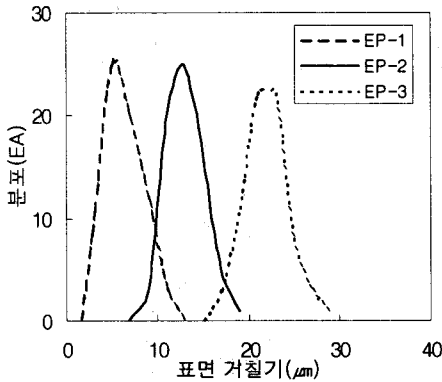


그림 3. 에폭시 접착제 도포 후 표면거칠기 분포

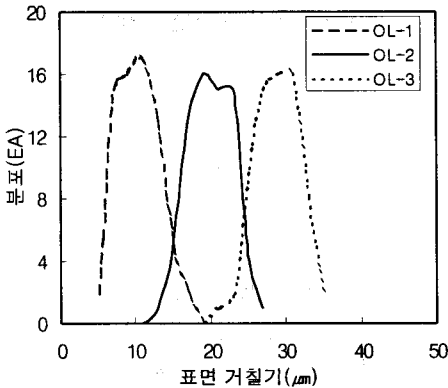


그림 4. 올레핀 접착제 도포후의 표면거칠기 분포

## 2.3 시험 방법

에폭시 매입금구와 에폭시와의 수직방향 접착강도 측정을 위하여 만능인장 시험기(UTM)를 사용하여 기계적 인장특성 시험을 하였다. 시험에 사용된 시편은 미세, 중간, 조밀 거칠기의 에폭시 접착제가 도포된 시편과 중간 거칠기의 올레핀 접착제가 도포된 시편을 사용하였으며 매입금구의 접착제가 도포되지 않은 부분은 이형제 처리를 하여 접착강도는 영으로 간주하였다.

전기적 절연파괴전압 측정은 ASTM D 149의 Method A에 의해 시험하였으며 연면방전을 방지하기 위해 절연

유 중에서 시험하였다. 시험에 사용된 시편은 미세, 중간, 조밀 거칠기의 에폭시 및 올레핀 접착제가 도포된 시편을 사용하였다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 접착강도 시험

접착강도 시험의 결과는 크게 두가지로 나타낼 수 있다. 첫째 중간 거칠기 영역에서 에폭시 접착제와 올레핀 접착제를 도포한 시편의 경우 에폭시 접착제가 도포된 시편의 접착강도가 올레핀 접착제가 도포된 시편보다 43% 이상 높은 강도를 나타내었다. 이는 에폭시 절연물과 동종인 에폭시 접착제가 이종의 올레핀 접착제 보다 접착력이 훨씬 우수함을 나타내었다.

둘째, 에폭시 접착제를 도포한 시편에서 표면 거칠기별 접착강도를 측정된 결과 미세 거칠기 영역과 중간 거칠기 영역은 5% 정도의 차이를 보이며 중간 거칠기 영역이 동등 이상의 접착강도를 나타내었고 조밀 거칠기 영역의 접착강도는 중간 거칠기 영역보다 15% 이상의 차이를 보이면서 높은 접착강도를 보였다. 여기서 접착강도는 계면의 접촉면적에 비례하므로 접촉면적이 큰 조밀 거칠기 영역의 접착강도가 높음을 알 수 있었다. 시험 결과는 그림 5에 나타내었으며 접착면적과 접착강도에 대한 관계식은  $\sigma$ 를 단위면적당 힘, P를 작용하중, A를 단면적이라 하면,  $P = \sigma \times A$  로 표기할 수 있다.

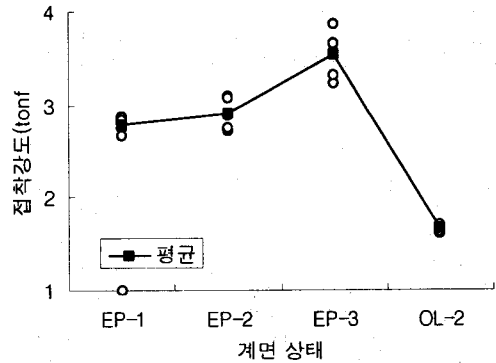


그림 5. 기계적 접착강도 시험 결과

### 3.2 절연파괴강도 특성 시험

절연파괴강도 시험의 결과는 크게 두가지로 나타낼 수 있다. 첫째 에폭시 접착제와 올레핀 접착제를 도포한 시편의 경우 각 표면 거칠기 영역에서 올레핀 계열의 접착제가 미세 거칠기 영역에서는 10%, 중간 거칠기와 조밀 거칠기 영역에서는 25% 이상 에폭시 계열의 접착제보다 낮은 특성을 보여주고 있다. 이는 올레핀 계열의 접착제는 주형법으로 시편을 제작시 에폭시 쪽으로 비산이 많이 되었기 때문이며 계면의 현미경 사진을 통해 비산의 양상을 확인할 수 있었다.

둘째 에폭시 접착제를 도포한 시편에서 표면 거칠기별 절연파괴강도를 측정된 결과 고압부 매입금구의 표면이 거칠수록 절연파괴강도는 낮아진다는 일반적인 특성과 상이함을 알 수 있었다.

즉, 미세 거칠기 영역과 중간 거칠기 영역의 경우 미세 거칠기 영역 보다 중간 거칠기 영역이 동일 거칠기 영역내의 절연파괴강도의 오차 범위내의 높은 특성을 보였다. 반면, 조밀 거칠기 영역의 경우 중간 거칠기 영역에 비해 15% 정도의 낮은 절연파괴강도 특성을 보여주

고 있다. 이는 Mason<sup>3)</sup> 등에 의해 계산되어진 전기적 스트레스에 관한 식으로 관찰될 수 있다.

$$E_{\max} = \frac{2V}{r \ln(1 + \frac{4d}{r})}$$

r : 고압부 침전극의 선단 반경  
d : 상, 하부 침전극간 거리

즉, 조밀 거칠기 영역에서는 거친 표면 거칠기에 의하여 산의 선단 반경이 매우 작게 되고 이로 인하여 전계의 집중이 커지면서 낮은 절연파괴강도를 보였으며 미세 거칠기와 중간 거칠기의 경우 작은 표면 거칠기로 인하여 산의 선단반경은 거의 동일하면서 완만한 선단반경으로 전계의 집중이 완화된 높은 절연파괴강도를 보였다고 판단된다. 반도체 접착제 도포 후 표면 거칠기에 따른 전기적 절연파괴강도 특성 시험의 결과는 그림 6에 나타내었다.

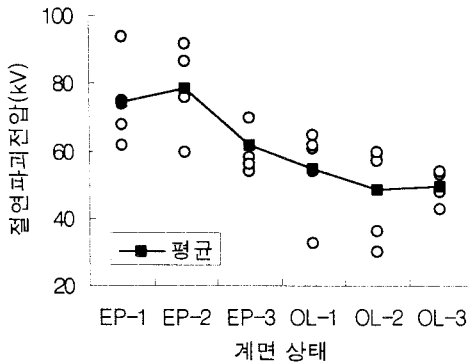


그림 6. 절연파괴특성 시험 결과

#### 4. 결론

이상과 같이 본 연구에서는 에폭시 매입금구 sanding 처리 후 반도체 접착제 도포에 따른 전기적, 기계적 특성 시험을 통하여 최적의 반도체 접착제 선정 및 표면 거칠기 선정을 위한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 에폭시 매입금구에 반도체 접착제 도포 후 기계적 접착특성 시험에서 '올레핀' 계열의 접착제가 에폭시 계열의 접착제보다 낮은 특성을 보였다. 이는 에폭시 절연물과 매입금구 계면에서 이중의 접착제로 인하여 낮은 특성을 보였음을 알 수 있었다.

2. 에폭시 매입금구에 반도체 접착제 도포 후 전기적 절연파괴강도 시험에서도 올레핀 계열의 접착제가 에폭시 계열의 접착제보다 낮은 특성을 보였다. 이는 올레핀 계열은 비산성이 좋으므로 주형시 에폭시 절연물쪽으로 비산이 많이 되었음을 알 수 있었다.

3. 반도체 접착제 도포 후 표면 거칠기에 따른 전기적, 기계적 특성에서는 중간 거칠기 영역이 양호한 특성을 보였음을 알 수 있었다. 특히 미세거칠기와 중간거칠기 영역인 20 $\mu$ m 이하의 영역에서는 절연파괴강도는 크게 중요하지 않음을 알 수 있었다.

따라서 에폭시 계열과 올레핀 계열의 반도체 접착제에서는 최적의 반도체 접착제는 에폭시 계열의 접착제이며 반도체 접착제 도포 후 최적의 거칠기 영역은 중간 거칠기 영역임을 확인하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] H.Lee and K.Neville. " Handbook of Epoxy Resins", Ch. 12, McGraw-Hill, Inc, New York, 1982 .
- [2] S.Menju, H.Aoyagi, Y.Okamoto, Y.Yamagiwa, "Electrical and Thermal Properties of Moldings", 東芝シリコ. vol 26, No 7, pp 835-840.
- [3] J.H. Mason, "Breakdown of solid Dielectrics in Divergent Field", Proc. IEEE, Vol. 102-C, pp. 254-263, 1995