

거칠기에 따른 반도체-절연 계면층에서 접착특성과 절연성능

이기택, 황선묵, 홍주일, 허창수
인하 대학교

Adhesion and Electrical Performance by Roughness on Semiconductive-Insulation Interface Layer of Silicone Rubber

Ki-Taek Lee, Sun-Mook Hwang, Joo-Il Hong, Chang-Su Huh
Inha University

Abstract

In this paper, the effect of adhesion properties of semiconductive-insulating interface layer of silicone rubber on electrical properties was investigated. Surface structure and adhesion of semiconductive silicon rubber by surface asperity was obtained from SEM and T-peel test. In addition, ac breakdown test was carried out for elucidating the change of electrical property by roughness treatment. From the results, Adhesive strength of semiconductive-insulation interface was increased with surface asperity. Dielectric breakdown strength by surface asperity decreased than initial Specimen, but increased from Sand Paper #1200. According to the adhesional strength data unevenness and void formed on the silicone rubber interface expand the surface area and result in improvement of adhesion. Before treatment Sand Paper #1200, dielectric breakdown strength was decreased by unevenness and void which are causing to have electric field mitigation small. After the treatment, the effect of adhesion increased dielectric breakdown strength. It is found that ac dielectric breakdown strength was increased with improving the adhesion between the semiconductive and insulating interface.

Key Words : silicone rubber, dielectric breakdown strength, adhesion

1. 서론

전력계통의 초고압, 대용량화에 따라 절연 기기의 신뢰성 향상이 요구되고 있으며, 전압의 초고압화에 의한 절연 시스템의 구성이 단일 재료보다는 복합/이종 재료로 형성된다. 그리고 전력용 케이블의 경우 길이의 유한성으로 인한 접속이 불가피하고, 이 경우 사용되는 케이블 부속재로 여러 절연 부품들이 사용됨에 따라 형성되는 이종 재료간의 계면 성능이 전체 절연 시스템의 안정성에 중대한 영향을 미치게 된다[1]. 따라서 절연재료의 계면특성 연구가 필요하다.

우리나라의 지중 송전선로의 고장원인을 분석하

여 보면 30~50% 정도가 접속재와 같은 케이블 부속재에서 일어났음을 알 수 있고, 일본의 경우, 77 kV급 XLPE케이블 선로의 전체 고장의 72% 정도를 차지하고 있는 것으로 보고 되었다[2][3].

최근에 초고압 케이블용 접속함은 시공성의 편리함을 주목적으로 하는 조립형 접속함의 개발이 지속적으로 이루어져 왔다. 초고압 케이블용 접속함은 크게 현장에서 절연부품을 성형하여 시공하는 방식인 Tape Molded Joints(TMJ)와 공장에서 성형 검사된 부품을 현장에서 조립하는 접속함인 Pre-fabricated Joints(PJ) 및 Pre-Mold Joints(PMJ)로 나눌 수 있다. TMJ는 뛰어난 신뢰성이 있지만 시공이 현장 성형방식이기 때문에 높은 조립기술이 요구되고 시공시간이 과다하게 소요되는 단점

이 있다. 이 때문에 케이블 접속함은 현장 조립이 간편한 조립형 접속함(PJ, PMJ)으로 전환되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 전력 케이블 부속재(PMJ)에 사용되고 있는 반도체-절연 실리콘 고무사이의 이중 계면에서 발생할 수 있는 절연파괴가 접착불량의 원인으로 추정되고 있다. 이러한 불량을 감소시키기 위하여 거칠기에 따른 반도체와 절연 실리콘 고무사이의 계면에서 접착특성과 접착이 절연성능에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용된 시료는 H사의 PDMS형 고온 경화(HTV, High Temperature Vulcanized)실리콘 고무와 carbon black이 함유된 반도체 실리콘 고무로써 여러 가지 특성평가를 하였다.

시료 제작 과정 중에 사용된 경화제로는 DHBP 2,5-dimethyl 2,5-di(t-butylperoxy) hexane을 2.0 phr 첨가하였으며, 170℃에서 10분간 hot press를 사용하여 경화하였다. 경화된 반도체 실리콘 고무 표면을 Sand Paper(#100, #300, #600, #1200, #1500, #2000)를 이용하여 거칠기 변화를 주었고, 2분간 세정하였다. 표. 1은 Sand Paper 등급을 나타내었다.

표 1. Sand paper 등급

European(P-grade)	#100	#320	#600
Medium Diameter (Micron)	150	46.2	25.75
European(P-grade)	# 1200	#1500	#2000
Medium Diameter (Micron)	15.3	10.2	8.3

2. 1 접착력 평가

Sand paper 등급에 따른 반도체와 절연 실리콘 고무계면의 접착력은 인장력 시험기(Universal Testing Instrument, Instron사)를 사용하여 ASTM 1876에 준하여 접착특성을 측정하였다.

2. 2 절연 파괴

절연파괴용 형틀 안에 절연 실리콘 고무를 넣고, 그 위에 Sand Paper 처리된 반도체 실리콘 고무를 올려놓아 hot press로 170℃에서 10분간 경화하여

시편을 제작하였다. 그림 1은 절연파괴 시험에 사용된 시편의 구조를 나타낸 것이다(최소 절연층의 오차범위 ±0.15mm).

계면 절연내력 측정은 유중에서 AC 내압기(BAUR DTAE AC 100kV)를 사용하여 구 대 평판 전극으로 절연파괴 전압을 측정하였다.

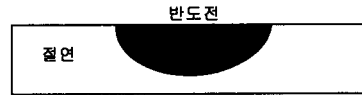


그림 1. 절연파괴 시험용 시편의 구성

Fig. 1. Specimen dimensions for testing of the electrical breakdown

2. 3 SEM

표면 미세구조 관찰에는 Hitachi사의 SEM (scanning electron microscope S-4200, Japan)을 이용하였다. 반도체부의 대전효과를 줄이기 위해 표면을 백금(Pt) 코팅한 후 관찰하였고, 측정배율은 200배, 가속전압은 20kV로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 접착특성 평가(T-Peel test)

접착이 일어나는 인자는 기계적 맞물림 (mechanical interlocking), 화학적 결합(chemical bonding), 물리적 결합(physical interaction)의 크게 세가지로 나누어진다[4]. 그 중에서도 본 실험은 반도체 실리콘 고무표면의 거칠기 변화를 통한 반도체-절연 실리콘 고무접합의 mechanical interlocking 접착특성에 대해서 조사하였다. 거칠기 변화에 따라 접착특성은 어떻게 변화하는지를 T-Peel test로 접착강도를 측정하였다.

그림 2는 거칠기에 따른 반도체와 절연 실리콘 고무를 접착강도를 나타낸 결과이다. 반도체와 절연 실리콘 고무계면의 접착력은 초기시료에 비해 높았으며, 표면 거칠기가 작아짐에 따라 접착력은 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 거칠기에 따른 반도체 실리콘 고무표면에 굴곡 및 요철이 형성되어, 절연 실리콘 고무가 반도체 표면에 반응할 수 있는 면적이 증가하므로, 이러한 표면 거칠기의 변화는 접착력에 영향을 주는 것으로 사료된다.[5].

3. 2 절연파괴

반도체부와 절연부 접합계면에서 반도체부의 거칠

기 변화에 따른 접착특성이 절연성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 전기적 평가인 AC 절연파괴 전압을 관찰하였다.

그림 3은 반도체 표면 거칠기 변화를 Sand Paper의 거칠기 등급(초기, #100, #320, #600, #1200)에 따라 계면의 AC 절연파괴강도를 측정된 결과이다.

계면에서의 절연파괴강도는 반도체 실리콘 고무 표면의 거칠기 변화가 작을수록 증가하였으며, 표면처리 #600 이상에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 반도체 표면 거칠기가 작아짐에 따라 계면에서 발생할 수 있는 요철 및 void를 감소시켜 이들 부분에 전계가 국부적으로 집중되는 것을 완화시켜 절연파괴강도를 높이는 것으로 사료된다. 따라서 거칠기가 작으면 전계완화가 커져 절연파괴강도는 높아지는 것으로 사료된다.

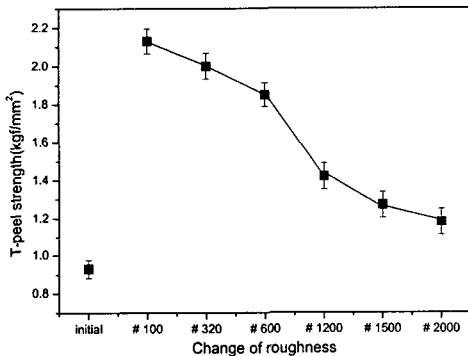


그림 2. 거칠기 변화에 따른 T-peel strength
Fig. 2. T-peel strengths by change of roughness

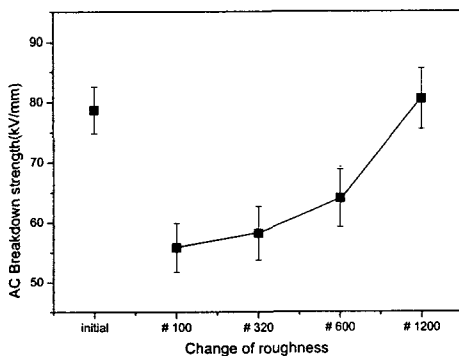


그림 3. 거칠기 변화에 따른 절연파괴 강도
Fig. 3. AC breakdown strength by change of

roughness

그림 4의 (a)는 앞에서 설명한 반도체 실리콘 고무표면에 굴곡 및 요철에 영향으로 전계가 집중되어 절연파괴 현상을 나타낸 그림이고, (b)는 초기시료의 절연파괴 현상을 나타낸 그림이다.

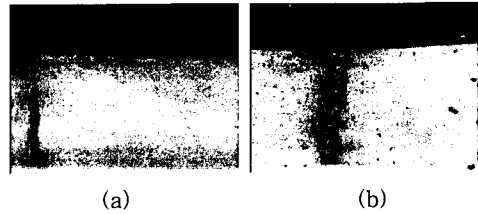


그림 4. 절연파괴 현상(현미경, ×50)
Fig. 4. AC Dielectric breakdown

그림 5는 표면 처리를 #1200, #1500, #2000으로 하여 절연파괴강도를 측정된 결과이다.

초기시료의 절연파괴강도는 78.7 kV/mm로, 표면처리 #1200에서 #1500까지 97.9kV/mm로 증가하였고, 표면처리 #2000에서는 90.6kV/mm로 감소하였다. 이러한 결과는 표면 거칠기에 따른 어느 임계점이 있어 표면처리 #1200 이하에는 요철 및 void에 영향으로 전계가 집중되어 초기 시료에 비해 절연파괴강도가 낮았으며, 표면처리 #1200 이상인 경우 접착력에 영향으로 절연파괴 강도가 증가하는 것으로 사료된다. 그리고 표면처리 #2000부터는 접착력이 떨어지므로 절연파괴 강도가 감소하는 것으로 판단된다.

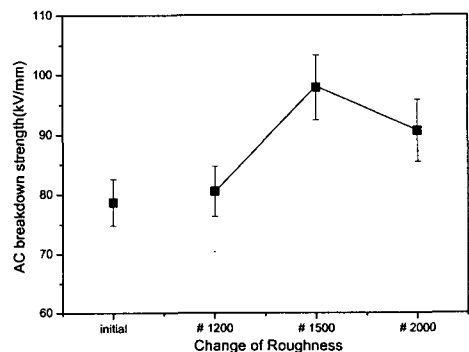


그림 5. 거칠기 변화에 따른 절연파괴 강도
Fig. 5. AC breakdown strength by change of roughness

3. 3 SEM(scanning electron microscope)

거칠기 변화를 Sand Paper를 사용하여 변화시키고, 각 시료의 표면 미세구조를 SEM으로 관찰하였다. 표면의 미세구조로 거칠기의 변화를 관찰할 수 있으므로, 표면 거칠기 면적에 따른 접착특성을 검토할 수 있다. 그림 2는 초기시료(a)와 각각의 Sand Paper 등급에 따른 반도체 실리콘 고무 표면을 측정된 SEM 사진이다($\times 200$). Sand Paper 등급이 높을수록 반도체 실리콘 고무의 표면 거칠기가 감소되는 것을 관찰되었다. 이러한 거칠기 변화는 표면적이 달라지므로, 거칠기 정도가 접착력에 영향을 주는 것을 접착특성에서 확인할 수 있었으며, 또한 이러한 표면의 변화가 전체적인 전기적 특성에 큰 영향을 주는 것도 절연파괴강도에서 확인할 수 있었다.

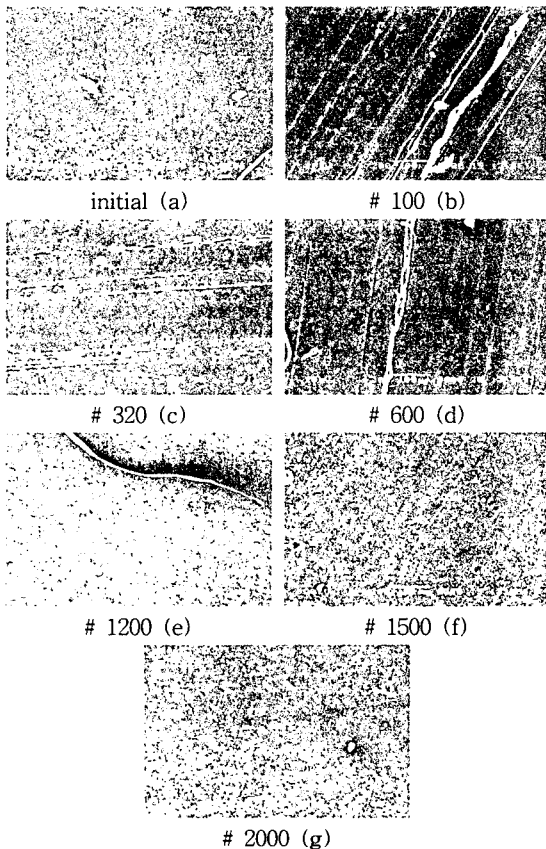


그림 6. 거칠기 변화에 따른 시료의 표면 변화
 Fig. 6. SEM micrographs of specimen treated by change of roughness

4. 결 론

본 연구에서는 반도체 실리콘 고무표면에 거칠기 변화로 시료의 표면 미세구조와 그에 따른 접착특성에 대하여 관찰하였으며, 또한 거칠기 변화에 따른 절연성능이 접착특성에 미치는 영향에 대하여 관찰하였다.

1. 거칠기에 따른 반도체 실리콘 고무표면에 굴곡 및 요철이 형성되어 절연 실리콘 고무가 반도체 표면에 반응할 수 있는 표면적이 달라지므로 표면 거칠기는 접착특성에 영향을 주는 것으로 사료된다.
2. 표면처리 #1200 이하에는 굴곡 및 요철에 영향으로 전계가 집중하여 초기 시료에 비해 절연파괴강도가 낮았으며, 표면처리 #1200 이상인 경우 접착력의 영향으로 절연파괴강도가 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 표면처리 #2000부터는 접착력이 떨어지므로 절연파괴 강도가 감소하는 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Katsumi Uchida et al. "Study on detection for the defects of XLPE cable lines" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, P. 663, 1996.
- [2] 1997 workshop lecture book " A short course on power cable", KEWIC KERI, p. 143, 1997.
- [3] Yutaka Nakanishi et al. "Development of Prefabricated Joint for 275kV XLPE Cable" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, p. 1139, 1995.
- [4] A J. Kinloch, Adhesion and Adhesives, Chapman & Hall, New York 1987.
- [5] C.M. Chan. "Polymer Surface Modification and Characterization", Hanser. Munich, 1994