Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 18, No. 5, p. 450, May 2005.

논 문 18-5-10

# 반도전성 실리콘 고무의 플라즈마 표면처리에 따른 접착특성과 절연성능

# Adhesion and Electrical Performance by Plasma Treatment of Semiconductive Silicone Rubber

황선묵[1,a], 이기택[1], 홍주일[1], 허창수[1]
(Sun-Mook Hwang[1,a], Ki-Taek Lee[1], Joo-Il Hong[1], and Chang-Su Huh[1])

**Abstract**

In this paper, the effect of adhesion properties of semiconductive-insulating interface layer of silicone rubber on electrical properties was investigated. The modifications produced on the silicone surface by oxygen plasma were accessed using ATR-FTIR, contact angle and Surface Roughness Tester. Adhesion was obtained from T-peel tests of semiconductive layer having different treatment durations. In addition, ac breakdown test was carried out for elucidating the change of electrical property with duration of plasma treatment. From the results, the treatment in the oxygen plasma produced a noticeable increase in surface energy, which can be mainly ascribed to the creation of O-H and C=O. It is observed that adhesion performance was determined by surface energy and roughness level of silicone surface. It is found that ac dielectric strength was increased with improving the adhesion between the semiconductive and insulating interface.

**Key Words** : Silicone rubber, Plasma surface modification, Adhesion, Surface energy

## 1. 서 론

특고압 기기, 케이블 절연시스템에 사용되는 절연재 구성물은 단일 재료 또는 단일 상으로 구성되어 있는 것은 거의 없다. 그리하여, 재료의 조합에 있어서 다른 종류의 재료 사이나 전극과의 사이에 계면이 존재하고, 그 계면이 절연 시스템 전체의 절연성능에 중대한 영향을 초래하여 매우 중요하다. 일반적으로 계면이란 두 상이 접촉하고 있는 면을 지칭하지만, 그 경계 부근에서 양쪽 상과는 다른 구조 및 성질을 가진 계면층 또는 계면영역이 존재한다. 예를 들어 지중 선로용 전력케이블 접속재의 경우 도체와 반도전층 사이, 그리고 절연체와 반도전성 재료로 만들어진 반도전층 사이 계면영역이 존재하고 있다. 이 반도전층의 본래 역할은 도체의 균일하지 못한 표면을 감싸 급격한 전압의 차이를 완화시켜 주는 역할과 도체와 절연층이 직접 접촉함으로서 발생할 수 있는 부분방전이나 산화반응에 의한 열화를 방지하는 역할을 한다.

우리나라의 지중 송전선로의 고장원인을 분석해 보면 30~50 % 정도가 케이블 접속재에서 일어났음을 알 수 있고, 일본의 경우, 77 kV급 XLPE케이블 선로의 전체 고장의 72 % 정도를 차지하고 있는 것으로 보고 되고 있다[1].

케이블 접속재에는 직선 접속재, 종단 접속재 등이 있으며, Taped Joints(TJs), Extrusion Molded Joints(EMJs), Pre-fabricated Joints(PJs), Pre-Mold Joints(PMJs), Cold-Shrinkable Joint(CSJs) 등의 방식이 적용되고 있다[2-4]. 이 중 Extrusion Molded Joints (EMJs) 방법이 우수하나 고도로 숙

1. 인하대학교 전기공학과
(인천시 남구 용현동 253)
a. Corresponding Author : energy@inhaian.net
접수일자 : 2004. 9. 9
1차 심사 : 2004. 12. 3
심사완료 : 2004. 12. 31

련된 시공자가 필요하고, 연속적인 긴 작업시간이 요구되는 단점을 가지고 있어 Pre-fabricated Joints (PJs), Pre-mold Joints(PMJs), Cold-shrinkable Joint (CSJs)등의 방식으로 전환이 이루어지고 있다. 이 방식은 케이블 접속재의 부품을 공장에서 미리 생산하기 때문에 일정수준의 품질을 유지하고 작업시간도 줄일 수 있으나 이종 재료간의 계면영역이 필연적으로 형성되기 때문에, 계면의 전기적 특성이 전체 절연 시스템의 신뢰도에 영향을 미친다. 이는 접속재의 이종 재료사이에 존재하는 계면영역이 취약하여 절연체 절연성능에 영향을 주기 때문이다. 따라서 케이블 접속재 계면의 접착특성과 절연파괴 특성에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 전력케이블 접속재 등에 형성되는 여러 이종계면 중 반도전부-절연부 사이의 계면에서 반도전층에 산소 플라즈마 방전처리에 따른 접착특성과 접착이 절연파괴 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 실 험

본 연구에서 사용된 시료는 실리콘 고무(HTV SR)와 carbon black이 들어간 반도전성 실리콘 고무로써 여러 가지 특성평가를 하였다. 시료에 사용된 경화제로는 DHBP (2,5-dimethyl 2,5-di(t-butyl peroxy) hexane)를 2.0 phr 첨가하였으며, hot press로 170 ℃에서 10분간 경화 하였다.

### 2.1 시편 제작

절연파괴용 시편제조는 경화된 반도전성 실리콘 고무를 2분간 세정한 다음, 절연파괴용 형틀에 경화된 반도전성 실리콘 고무를 올려놓고 그 위에 절연 실리콘 고무 컴파운드를 올려놓아 hot press로 170 ℃에서 10분간 경화하여 시편을 제작하였다. 그림 1은 시편의 전계해석을 위한 그림이며, 그림 2는 절연파괴 시험에 사용된 시편의 구조를 나타낸 것이다(최소 절연층의 두께 오차 범위는 ±0.07). 그리고 T-peel test용 시편은 절연파괴용 시편과 같은 과정으로 제작하였다.

### 2.2 플라즈마 처리

본 실험에 사용된 플라즈마 장치의 시스템은 전원부, 방전부 배기 및 진공 검출부로 나누어져 있다. 장비의 전체적인 시스템과 실제 제작된 모양을 그림 3으로 나타내었다. 플라즈마를 일으키기 위한 방전전력의 전원으로는 13.56 MHz RF 플라즈마

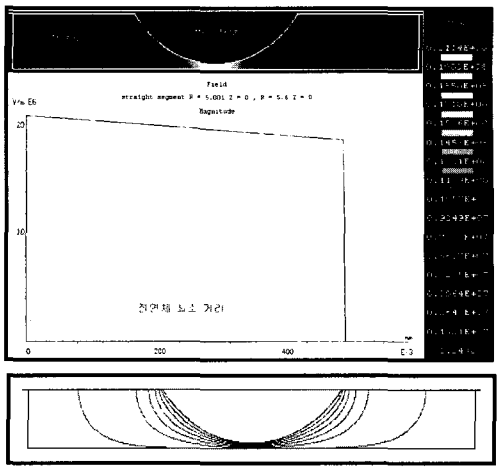


**그림 1.** 전계 및 등전위 분포.
**Fig. 1.** Electric field and equipotential line.

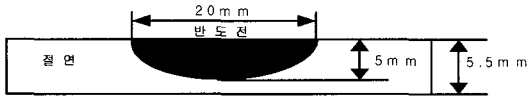
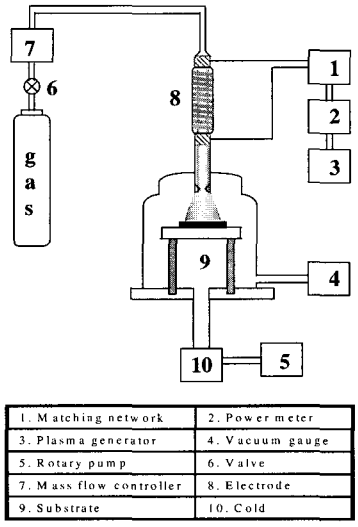



**그림 2.** 절연파괴 시험용 시편의 구조.
**Fig. 2.** Specimen dimensions for testing of the electrical breakdown.




| | |
|---|---|
| 1. Matching network | 2. Power meter |
| 3. Plasma generator | 4. Vacuum gauge |
| 5. Rotary pump | 6. Valve |
| 7. Mass flow controller | 8. Electrode |
| 9. Substrate | 10. Cold |

**그림 3.** 플라즈마 처리 장치 개략도.
**Fig. 3.** Schematic diagram of plasma treatmemt system.

발생기(RF Plasma Generator(AUTO ELEC. ST-500, 600 W))를 사용하였고, 방전부와의 임피던스 매칭을 위해서 매칭박스(Matching Box(Load Coupler LC-1000))를 설치하였으며, 방전부에 공급되는 전력을 측정하기 위해서 RF 방전전력계(RF Power Meter(Collins 30K-3))를 설치하였다. 진공의 검출은 진공게이지(Pirani Gauge(Model PG-IS 23593 Okano, $10\sim10^{-3}$ torr))를 사용하였다. 그리고 로터리 펌프의 진공도를 확보하기 위하여 드라이 아이스를 사용하는 콜드트랩(cold trap)을 설치하였다. 처리조건으로는 반응가스로 산소를 10 sccm 주입시키면서 진공펌프를 이용하여 반응조의 압력을 0.1 Torr로 고정시킨 후, 방전 전력을 50 W로 하여 1분에서 20분까지 변화시켜 반도전성 실리콘 고무 표면을 처리하였다.

### 2.3 ATR-FTIR 분석 및 표면 에너지

표면 처리에 따른 반도전성 실리콘 고무 표면의 화학적 특성기는 전반사 적외선 분광기(ATR-FTIR, galaxy 6020)를 사용해서 측정하였다. 이와 같은 전반사 적외선 분광법은 절연재료가 불투명하여 투과로 측정하기 어렵고, 반사로 측정하게 되면 정보량이 작아 분석이 어렵게 된다. 이에 반해 ATR(attenuated total reflection)방법은 여러번 시료와 결정 사이를 반사시켜 상대적으로 많은 양의 정보를 얻을 수 있다[5]. 조사 스펙트럼 범위는 400~4000 $cm^{-1}$로 하였으며, 사용한 ATR 결정은 KBR-5(refractive index=2.38)에 45°의 입사광을 사용하였다. 시료 표면과 결정의 균일한 접착을 위해 토크미터로 조정하여 시료마다 일정한 압력으로 조정하였다.

접촉각 측정은 산소 플라즈마 방전 처리에 따른 반도전성 실리콘 고무의 표면 자유에너지 변화를 알아보기 위한 것이며, 정적 접촉각 측정 장치(ERMA INC. Contact Angle Meter)를 이용하여 상온에서 시료 표면에 탈 이온 증류수(2.7 $\mu s/cm$) 5 $\mu\ell$를 sessile drop 형태로 하적하여 1분 이내에 임의의 5곳에서 측정하여 평균값을 표시하였다. 이러한 접촉각은 재료 표면에 자유에너지로 결정되는데 표면에너지 성분을 알고 있는 두 용액을 사용하여 접촉각을 측정하면, 표면에너지의 분산성분과 극성성분을 분리해 낼 수 있다. 본 실험에서는 표면에너지 계산을 위한 탈 이온수와 methylene iodide($CH_2I_2$)를 사용하였다. 표 1은 사용된 액체의 표면에너지를 성분별로 나타낸 값이다.

표 1. 접촉각 측정용액의 표면에너지(mJ/㎡).

**Table 1.** Surface energy of liquid used for contact angle.

| Liquid | $\gamma_L$ (mJ/m$^2$) | $\gamma_{LD}$ (mJ/m$^2$) | $\gamma_{LP}$ (mJ/m$^2$) |
|---|---|---|---|
| methylene iodide | 50.8 | 49.5 | 1.3 |
| water | 72.8 | 21.8 | 51 |

### 2.4 접착 특성 및 표면 거칠기

산소 플라즈마 처리에 따른 반도전부와 절연부의 실리콘 고무의 접착력은 만능재료 시험기(Universal Testing Instrument, Instron사)를 사용하여 ASTM 1876에 준하여 접착강도를 측정하였다. 그리고 플라즈마 처리에 따른 표면 거칠기를 알아보기 위해 표면 조도 측정기(Surface Roughness Tester, kosaka사, SE3500)를 사용하였다. 표면 거칠기 측정에 사용되어진 시편은 T-peel test용 시편과 절연파괴용 시편으로 나누어 측정하였다(T-peel test용과 같은 절연파괴용 시편의 거칠기 값을 제작하는 문제로 인하여, 시편을 나누어 측정하였다).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 반도전성 재료의 표면에너지

그림 4는 산소 플라즈마 방전 처리에 따른 반도전성 실리콘 고무의 접촉각을 탈 이온수와 MI를 사용하여 측정한 결과이다. 초기시료는 탈 이온수의 경우 102°, MI 용액의 경우 70°를 나타났으나, 산소 플라즈마 방전이 진행되면서 접촉각은 단 시간에 낮아져 처리 1분에는 탈 이온수와 MI 용액은 각각 21°와 52.4°로 급격하게 감소하였다. 처리 3분 후의 접촉각은 감소되어 탈 이온수의 경우 18°, MI용액 경우 45.8°로 나타났고 이 후 처리시간에서는 탈 이온수와 MI용액의 접촉각은 각각 20°, 43.2° 부근의 값을 유지하였다.

이러한 평균 접촉각 결과를 가지고 Harmonic-mean approximation식에 대입하여 표면 에너지의 성분별 계산치 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 초기시료의 경우 이중 분산성 성분($\gamma_{SD}$)은 22 mJ/㎡이었으며, 극성성분($\gamma_{SP}$)은 0.94 mJ/㎡으로, 총 표면 에너지($\gamma_S$)는 22.94 mJ/㎡로 나타났다. 산소 플라즈마 방전 처리 1분 후 표면에너지 성분은 분산성 성분 22.66 mJ/㎡, 극성

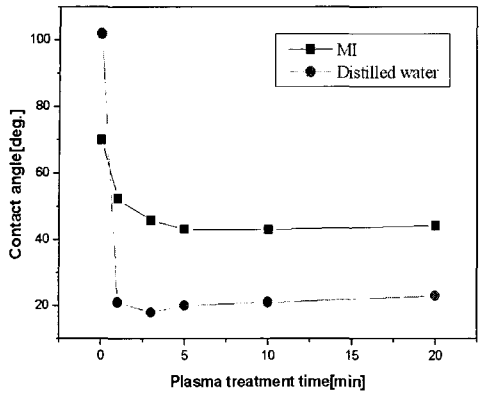



**그림 4.** 플라즈마 처리에 따른 반도전 실리콘 고무에서 탈이온수와 MI용액의 접촉각.

**Fig. 4.** Contact angle measured with distilled water and MI on semiconductive silicone rubber with increasing plasma treatment time.

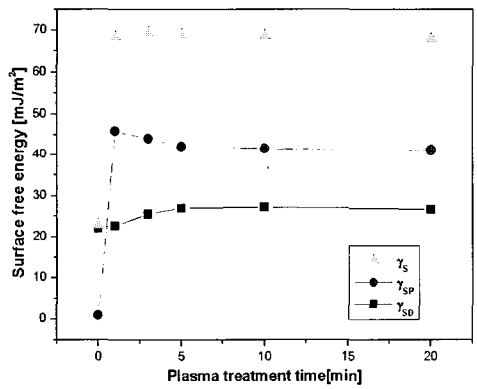



**그림 5.** 플라즈마 방전처리에 따른 실리콘 고무의 표면에너지.

**Fig. 5.** Surface energy on silicone rubber with increasing plasma treatment time.

성분 45.83 mJ/㎡으로 총 표면에너지는 68.49 mJ/㎡로 빠르게 증가하였고, 3분 후 표면에너지 성분은 분산성 성분 25.5 mJ/㎡, 극성성분 44.09 mJ/㎡으로 총 표면에너지는 69.59 mJ/㎡로 거의 일정하게 나타났다

이는 산소 플라즈마 처리에 따라 반도전성 실리콘 고무표면에 발달된 극성관능기로 인하여 소수성인 반도전성 실리콘 고무의 표면에 친수성이 크게 증가하여 표면에너지의 극성 성분이 증가한 것으로 사료된다[6]. 또한 표면에너지의 분산성($\gamma_{SD}$) 성분은 미처리 반도전성 실리콘 고무에 비하여 큰 변화가 없었으며, 이는 산소 플라즈마 처리에 따른 표면에너지는 분산성($\gamma_{SD}$) 성분에는 거의 영향을 받지 않은 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 화학적 분석(ATR-FTIR)

반도전성 실리콘 고무의 산소 플라즈마 방전 처리에 따른 표면의 화학적 특성기 변화를 관찰하기 위해 전반사 적외선 분광법(ATR-FTIR)을 사용하였다. 그림 6은 산소 플라즈마 방전 노출시간을 달리한 실리콘 고무의 IR 스펙트럼 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 초기 시료를 나타낸 스펙트럼(a)는 메틸기에서의 C-H stretch(2960 $cm^{-1}$), $CH_3$ bend(1410 $cm^{-1}$), 측쇄기의 Si-$CH_3$ (1270 $cm^{-1}$), 그리고 주쇄인 Si-O-Si(1020 $cm^{-1}$)가 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 산소 플라즈마 방전시간이 길어지면서 특성피크 변화가 발생하였는데, 특히 반도전성 실리콘 고무 표면에 극성 관능기인 하이드록시기(OH), 카르보닐기(C=O)특성피크가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 플라즈마를 반도전성 실리콘 고무 표면에 처리하면 플라즈마 내의 다량의 라디칼이 반도전성 실리콘 고무 표면에 반응하여, 표면에 산소를 함유한 관능기인 하이드록시기(OH), 카르보닐기(C=O)가 표면에 많이 도입되어진 것으로 생각된다.

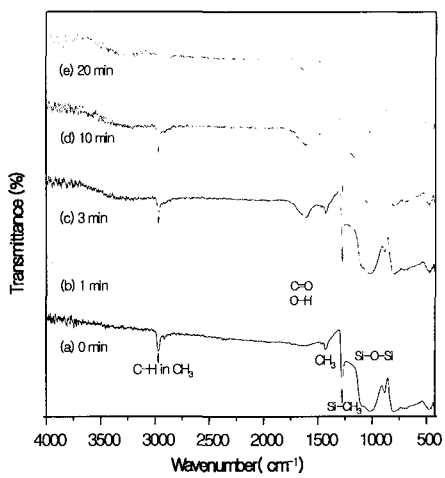



**그림 6.** 플라즈마 방전 처리에 따른 ATR-FTIR 스펙트라의 변화.

**Fig. 6.** ATR-FTIR spectra at plasma discharge treatment of samples.

따라서 이러한 반응에 의하여 표면에 극성관능기들이 존재하게 되고, 관능기들이 표면 에너지를 높여 접촉각이 저하된 것으로 판단된다. 또한 시료표면에서 극성관능기의 발달로 인해 표면의 젖음성이 향상될 것으로 사료된다.

### 3.3 접착 특성(Surface roughness, T-peel test)

산소 플라즈마 방전처리에 따라 반도전성 실리콘 고무의 표면 거칠기 변화를 알아보기 위해 표면조도측정기(Surface Roughness Tester)를 사용하였다. 그림 7은 산소 플라즈마 방전 처리에 따른 표면 거칠기 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 산소 플라즈마 방전에 의해 반도전성 실리콘 고무의 표면 거칠기가 변화 하였는데, 미처리 시료의 표면 거칠기 실효값(rms)은 0.25 ㎛로 나타났으며, 산소 플라즈마 방전처리 3분 후 표면 거칠기 실효값(rms)은 0.32 ㎛로 증가하였다. 그 후 산소 플라즈마 방전처리 10분, 20분의 표면 거칠기 실효값(rms)은 조금 더 증가하여 각각 0.52 ㎛, 0.57 ㎛로 나타내었다. 이러한 변화는 산소 플라즈마 내의 하전 입자가 반도전성 실리콘 고무 표면에 충돌하여 표면을 손상(etching)시켜, 반도전성 실리콘 고무 표면의 거칠기를 증가시키는 것으로 사료된다.

접착이 일어나는 기구는 기계적 맞물림(mechanical interlocking), 화학적 결합(chemical bonding), 물리적 결합(physical interaction)의 세가지로 크게 나누어진다[7]. 그림 8은 반도전성 실리콘 고무의 산소 플라즈마 처리시간에 따라 영향을 받는 접착력을 구하기 위해 만능시험기를 사용하여 측정한 T-peel test 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 플라즈마 처리시간에 따라 접착력이 변화 하였는데, 초기시료인 접착력은 5.3 kgf/cm$^2$로 나타냈으며, 산소 플라즈마 방전 처리에 따라 3분과 10분의 접착력은 각각 6.5 kgf/cm$^2$, 8.75 kgf/cm$^2$로 증가하였다. 그리고 20분 처리 후 접착력은 9.25 kgf/cm$^2$로 조금 더 증가하였다.

이러한 결과는 앞에서 본 산소 플라즈마 방전처리시간에 따라 반도전성 실리콘 고무표면에 산소를 함유한 극성관능기의 발달로 인하여 표면 에너지를 증가시켜 젖음성이 향상 되었고, 경화된 반도전성 실리콘 고무와 실리콘 고무의 컴파운드를 2차 경화 접착시, 반도전성 실리콘 고무 표면에 도입된 하이드록실기와 카르보닐기가 실리콘 고무의 컴파운드와 쇄교 결합 및 방사에 의한 경화로 접착력이 증가하는 것으로 사료된다[6,8]. 또한 거칠기 변화로 인하여 계면접촉면적의 증가, 혹은 접착부위에 응력이 가해졌을 때 먼저 파괴가 일어나는 약한 계면층(Weak boundary layer)을 제거함으로써 접착력이 증가하는 것으로 판단되다[9]. 따라서 물리 또는 화학적 결합에 유도되어 접착에 영향을 주는 것으로 판단된다.

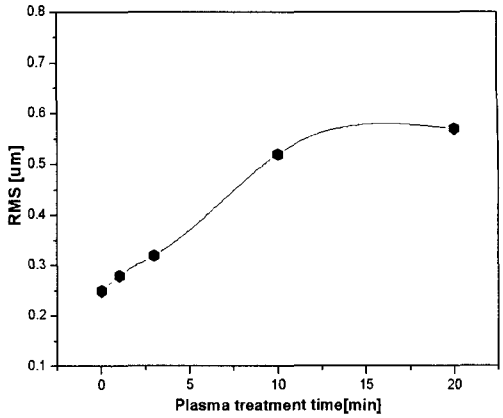



**그림 7.** T-peel test 시편의 반도전층 표면 거칠기 변화.

**Fig. 7.** Roughness on semiconductive layer of T-peel test specimen.

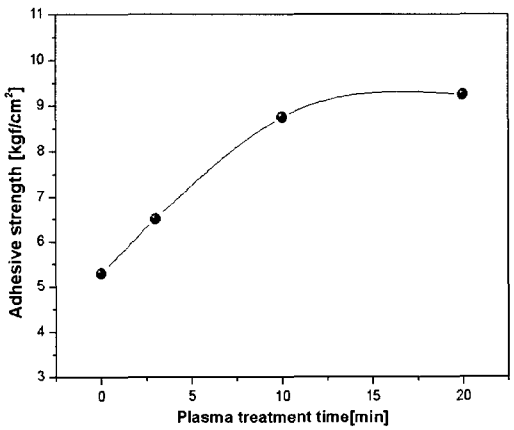



**그림 8.** 플라즈마 처리에 따른 접착력 변화.

**Fig. 8.** Change of adhesive strength according to the Plasma treatment of samples.

### 3.4 절연특성 평가

그림 9는 산소 플라즈마 방전 처리시간에 따른

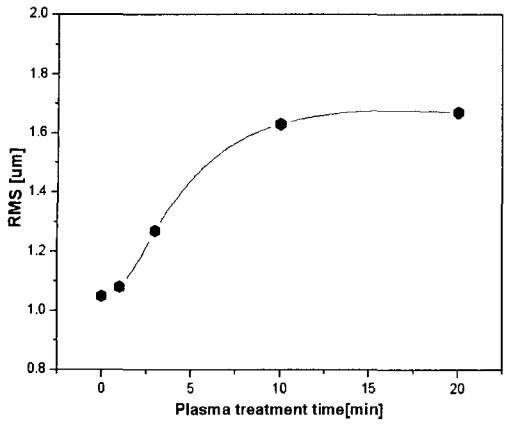



**그림 9.** 절연파괴 시편의 반도전층 표면 거칠기 변화.

**Fig. 9.** Roughness on semiconductive layer of breakdown specimen.

절연파괴용 시편의 반도전성 실리콘 고무의 표면 거칠기 RMS(㎛)를 측정한 결과이다. 산소 플라즈마 방전 처리시간이 증가함에 따라 표면 거칠기는 초기 시료에 비해 0.62 ㎛ 증가하였다. 이는 앞에서 본 T-peel test용 시편의 표면 거칠기와 같은 경향으로 표면 거칠기가 에칭에 의해서 증가하였고, 접착특성도 물리 또는 화학적 결합에 의해 접착에 영향을 줄 것으로 사료된다.

반도전층과 절연층 접합사이의 계면에서 반도전층의 산소 플라즈마 방전처리에 따른 절연 성능을 알아보기 위해 전기적 평가인 AC 절연파괴강도 특성을 관찰하였다. 그림 10은 동일한 조건하에서 얻은 10개 시편에 대한 AC 절연파괴강도를 산소 플라즈마 방전처리시간에 따른 Weibull 분포로 평가한 그림이다. 그림에서 알 수 있는 봐와 같이 매입 전극 시편(0.5 mm 절연두께) 63.2 % 파괴 확률 Eta(η)값은 초기시료의 경우 80.2 kV/mm로 나타났으며, 산소 플라즈마 방전이 진행되면서 63.2 % 파괴 확률 Eta(η)값은 처리 3분, 10분, 20분 각각 81.8 kV/mm, 85.5 kV/mm, 87.2 kV/mm로 증가하였다. 또한 절연파괴가 개시되는 파괴 확률 Gamma(γ)값을 알아보면 초기시료의 경우 48.5 kV/mm로 나타났으며, 산소 플라즈마 방전처리를 3분, 10분, 20분 처리한 시료인 경우 각각 55.6 kV/mm, 57.8 kV/mm, 59.2 kV/mm로 증가하였다.

이는 산소 플라즈마 처리로 접착력이 증가함에 따라 계면에서 발생할 수 있는 미소 보이드, 공극

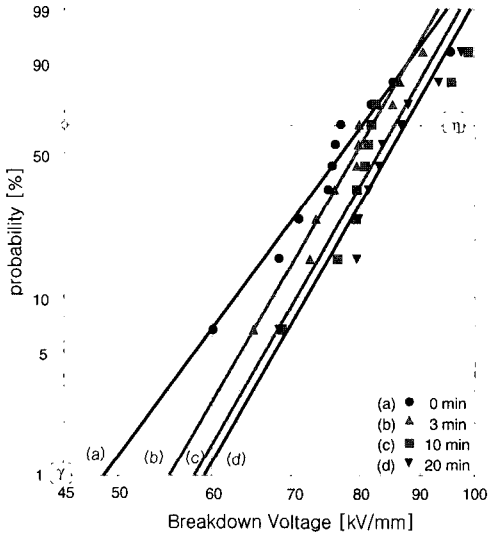



**그림 10.** 플라즈마 처리에 따른 AC 절연파괴 강도의 Weibull 분포.

**Fig. 10.** Weibull distribution of AC breakdown strength according to the Plasma treatment of samples.

이 감소시켜 이들 부분에 전계가 국부적으로 집중되는 것을 완화시켜 절연내력에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 계면의 절연파괴를 일으키는 원인 중 계면에서 미소 보이드, 공극 등이 발생하게 되는데, 이 부분은 기체로 채워져 있으므로 높은 전압이 인가되면 이 부분에서 부분방전이 발생하고, 이 현상의 누적으로 계면의 절연파괴가 일어나게 된다. 계면에 존재하는 공극이나 미소 보이드 속의 물질은 고체 유전체보다는 낮은 절연강도를 가지면서 유전율도 고체보다 낮으므로 이곳으로의 전계 집중에 의해 미소 보이드나 공극의 절연파괴가 일어나게 된다. 따라서 반도전층과 절연층 사이의 계면의 절연파괴 강도는 접착특성에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 반도전성 실리콘 고무표면에 플라즈마 처리를 하여 시료의 표면 특성과 그에 따른 접착특성에 대하여 관찰하였으며, 또한 플라즈마 처리에 따른 접착특성 변화가 절연파괴에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산소 플라즈마 방전 처리 전 시료의 표면에너지는 22.94 $mJ/m^2$의 낮은 표면에너지를 지니고 있었으나, 플라즈마 방전처리 시간이 증가하면서 하이드록시기(OH)나 카르보닐기(C=O)와 같은 극성 관능기들의 도입으로 인하여 표면에너지는 단 시간에 증가하여, 처리 3분 후에는 69.49 $mJ/m^2$로 거의 일정한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

2. 산소 플라즈마 내의 하전입자가 반도전성 실리콘 고무표면에 충돌하여 표면을 손상(etching)시켜 거칠기가 변화하였으며, 또한 극성관능기로 인해 표면에 친수성이 크게 증가하여 접착력은 초기시료와 플라즈마 처리 20분을 비교 했을 때 3.95 $kgf/cm^2$만큼 증가하는 것을 알 수 있었다.

3. 산소 플라즈마 방전처리 전 시료의 절연파괴가 개시되는 파괴 확률 Gamma(γ)값은 48.5 kV/mm를 나타났으며, 산소 플라즈마 방전이 진행되는 3분, 10분, 20분의 절연파괴가 개시되는 파괴 확률 Gamma(γ)값은 각각 55.6 kV/mm, 57.8 kV/mm, 59.2 kV/mm로 증가하였다. 이는 접착력이 증가함에 따라 계면에서 발생할 수 있는 보이드, 공극이 감소시켜 이들 부분에 전계가 국부적으로 집중되는 것을 완화시켜 절연내력에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 논문은 산업자원부, 정보통신부에서 시행한 "초고주파 방전 신광원 시스템 개발" 사업의 지원으로 수행되었음

## 참고 문헌

[1] Nakanishi Y., Fujimori A., Fukunaga S., Tanabe T., Kobayashi M., Shiseki N., and Ando K., "Development of prefabricated joint for 275 kV XLPE cable", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 10, p. 1139, 1995.

[2] D. Muto, S. Kobayashi, and S. Tanaka, "Development of cold-shrinkable joints with silicone rubber sleeve for 110-230 kV XLPE cables", Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES Conf. Vol. 2, No. 6-10, p. 1077, 2002.

[3] Kubota, T. Takahashi, Y. Sakuma, S. Watanabe, M. Kanaoka, M., and Yamanouchi, H., "Development of 500-kV XLPE cables and accessories for long distance underground transmission line-Part I: insulation design of cables", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol. 9, Iss. 4, p. 1750, 1994.

[4] Nakanishi, Y. Fujimori, A. Fukunaga, S. Tanabe, T. Kobayashi, M. Shiseki, N. and Ando, K., "Development of prefabricated joint for 275-kV XLPE cable", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol. 10, Iss. 3, p. 1139, 1995.

[5] S. Wu, "Polymer Interface and Adhesion", Marcel Dekker. INC, New york, p. 133, 1982.

[6] H. Hillborg and U. W. Gedde, "Hydrophobicity changes in silicone rubber", IEEE Trans. on DEI, Vol. 6, Iss. 5, p. 703, 1999.

[7] A. J. kinloch, "Adhesion and Adhesives" chapman & Hall, New york, p. 306, 1987.

[8] 허창수 "애자의 RTV 실리콘 코팅에 의한 신뢰성 향상 연구", 더넝실리콘주식회사, p. 27, 1999.

[9] J. T. Han and D. H. Lee, "Adhesion science and technology", Prospectives of Industrial Chemistry, Vol. 7, No. 4, p. 43, 2004.