

경사평면법에 의한 옥외용 실리콘고무의 내트래킹성 및 내침식성 평가

김정호\* · 송우창\* · 박용관\* · 김희곤\*\* · 김인성\*\*\* · 한세원\*\*\* · 조한구\*\*\*

\* : 성균관대학교      \*\* : 한전 기술연구원      \*\*\* : 한국전기연구소

The Evaluation of Tracking and Erosion Resistance of Silicone Rubber for Outdoor Use by the Inclined-Plane Method

J.H.Kim · W.C.Song · Y.G.Park      H.G.Kim      I.S.Kim · S.W.Han · H.G.Cho

\* : Sungkyunkwan Univ.      \*\* :      \*\*\* : KERI

**Abstract** - We investigated the tracking and erosion resistance of the silicone rubber by Inclined-Plane Method. And, with the variation of the accelerated conditions such as the applied voltage and composition of contaminant, the change of the tracking characteristics according to such conditions was evaluated. The leakage current significantly increases with the increasing voltage, but the weight loss remains almost the same. The voltage above 5.0 kV isn't recommended because tracking breakdown occurs as fast as it does without erosion, and the typical discharge waveform was the form of rectifying wave.

1. 서 론

실리콘 고무는 절연성, 가공성 및 내열성이 우수할 뿐 아니라, 발수성(water repellency, hydrophobicity)이 좋아 옥외용 절연재료로서 광범위하게 이용될 수 있다. 그러나, 대부분의 고분자 절연물과 마찬가지로 옥외의 가혹한 자연환경에 노출되면, 환경오염, 수분 흡수, 전기적·열적·기계적 스트레스 등에 의한 열화로 인해, 절연성은 급격히 저하되고, 과전하에서 표면에 트래킹(tracking)을 발생시킨다[1]. 특히, 실리콘 고무는 옥외에서 절연물로 사용할 때 빛과 열에 대하여 취약하기 때문에 아크(arc) 방전과 트래킹 및 침식이 수반되므로, 내트래킹성 및 내침식성의 평가는 옥외용 절연재료의 적절한 응용에 중요한 요소이다.

본 연구에서는 내트래킹성의 평가를 위해 IEC 587 경사평면법[2]을 채택하였으며, 가속조건에 따른 재료의 특성 변화를 고찰하기 위해 오손액의 조성 및 인가전압을 달리하여 실험하였다. 또한, 내트래킹성 및 내침식성을 평가하기 위해 누설전류의 크기 및 파형의 변화를 관찰하였고, 침식에 의한 중량손실을 측정하였다.

2. 실 험

2.1 시편 제조

Base polymer는 미국의 다우코닝사 실리콘이며 무기물은 표면처리된 Alumina Trihydrate(Al(OH)<sub>3</sub>, ATH)로써, 입도는 0.3~1 μm이다.

표 1에 나타낸 조성의 실리콘고무를 180 °C에서 10분간 경화하여 제작하였으며 시료의 크기는 50mm×120mm×6mm이다.

Table 1. Chemical compositions of the starting materials. (단위 : parts)

Base gum	100
Treated ATH	120
Curing Agent	0.6
Pigment	1

2.2 내트래킹 특성 실험

내트래킹은 IEC Publ. 587 방법으로 실험하였으며, 절연파괴시간, 누설전류의 변화 및 침식에 의한 중량손실을 측정하였다. 실험시간은 6시간까지 설정하였으며, 전계강도에 따른 내트래킹성의 변화를 조사하기 위해 인가전압을 3.5~5.5 kV 까지 0.5 kV 간격으로 나누었고, 오손액은 0.1% NH<sub>4</sub>Cl과 0.02%의 비이온계 계면활성제, Iso-octylphenoxypolyethoxyethanol(TRITON X-100)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인가전압에 의한 특성

그림 1에 인가전압에 따른 트래킹파괴시간을 나타내었는데, 5.0 kV 이상의 전압에서는 트래킹파괴시간이 급격히 감소함을 알 수 있었다. 그러나, 파괴 후에 재료의 침식이 거의 관찰되지 않았고, 파괴 직후 다시 전압을 재인가하면 장시간 트래킹파괴가 발생

하지 않는 것으로 보아 위와 같은 트래킹과피 현상은 재료의 침식에 의한 누설전류의 증가에 기인하기 보다는 오손액 전도도의 일시적 증가에 의한 누설전류의 증가로 인해 파괴된 것으로 생각된다.

그림 2와 그림 3에 누설전류, 침식량의 변화 및 누설전류거동을 나타내었다. 전압에 따라 누설전류는 선형적인 증가추세를 보임을 알 수 있다. 누설전류성분은 표면분해에 기여하는 성분과 표면분해에 기여하지 못하는 성분으로 나눌 수가 있는데 전자는 주로 아크에 의한 전류이고 후자는 단순히 오손액의 전도도에 의한 전류이다[3]. 아크가 한 부분에서 장시간 고정적으로 발생하면, 이는 국부적 고온영역을 발생시키고 이 온도에 의해 고분자절연재료는 침식되게 된다. 침식속도는 국부적 아크에너지밀도와 그 지속시간에 따라 다르게 나타나는데, 아크에너지는 표면전도도 및 인가전압에 의한 전류에 의존한다. 또, 아크 지속시간은 시료표면의 수분증발속도에 관계되는데, 수분이 빨리 증발할수록 아크 지속시간은 짧아진다[4]. 그림 2에서 인가전압에 의한 침식의 변화는 누설전류에 비해 거의 없었다. 이는 전압이 증가함에 따라 아크전류가 증가하고, 이로 인해 오손액이 증발하게 되어 아크의 지속시간이 짧아지기 때문으로 생각된다.

### 3.2 누설전류파형에 의한 특성

그림 4에 전압에 따른 방전전류의 파형을 방전지속시간의 관점에 의하여 나타내었다. 4.5 kV보다 3.5 kV에서 방전지속시간이 더 긴 것을 알 수 있는데, 3.5 kV의 경우 수초에서 수십초에 이르지만, 4.5 kV의 경우는 수초에 불과함을 관찰할 수 있었다.

그림 5에 전형적인 방전전류파형을 나타내었는데, 찌그러진 파형과 정류파형의 형태로 나타남을 알 수 있다. 찌그러진 파형보다 정류파형이 방전이 국부적 영역에 집중되는 형태이고, 정류되는 크기가 클수록 방전에너지도 높은 것으로 생각된다.

### 3.3 오손액 조성에 따른 특성

오손액 조성에 따른 특성을 살펴보기 위해 비이온계 계면활성제 외에 음이온계 계면활성제, Alkylm-phthalene sulfonate(EKARU BX)를 첨가한 오손액을 사용하였다. 비이온계 및 음이온계 계면활성제를 첨가한 오손액의 조성은 표.2에 나타내었다.

Table 2. Composition of Contaminant Solutions.

Contaminant Solution		A	B
Electrolyte(0.1%)		NH <sub>4</sub> Cl	NH <sub>4</sub> Cl
Surfactant (0.02%)	Nonionic	(TRITON X-100)	
	Anionic		(EKARU BX)
Resistivity (Ω·cm)		390 ± 10	390 ± 10

또한, 트래킹 파괴 후의 실리콘 표면의 특성 조사를 위하여, 액적법으로 접촉각을 측정함으로써, 표면의 발수성 변화를 고찰하였다.

그림 6과 그림 7에 음이온계 및 비이온계 계면활성제를 사용한 경우의 인가전압별 트래킹과피시간 및 누설전류의 변화를 나타내었는데, B 오손액의 경우 낮은 누설전류값을 나타냄에도 불구하고 트래킹과피시간은 짧게 나타났는데, 이는 A 오손액에서는 방전불꽃이 시료표면 전체에 분산되는 형태로 나타나기 때문에 방전이 하부전극에 안정되기까지 걸리는 시간이 큰 반면, B 오손액에서는 초기부터 하부전극에 방전불꽃이 안정되어 방전이 한 곳에 집중되기 때문으로 생각된다. 따라서, 침식형태도 A 오손액의 경우보다 B 오손액의 경우가 더 하부전극에 집중된다. 그림 8에 트래킹 시험을 거친 시료에 대해 상부전극과 하부전극의 중앙점에서 측정한 접촉각을 나타내었는데, A 오손액으로 시험한 시료에서 발수성의 감소가 현저함을 관찰할 수 있었다. 이는 B 오손액의 경우에 방전이 하부전극을 제외한 영역에는 거의 영향을 미치지 않기 때문으로 생각된다.

## 4. 결 론

경사평면법에 의한 내트래킹 실험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인가전압에 의한 트래킹과피시간은 5.0 kV 이후에 급격히 감소하였는데, 이러한 파괴는 오손액 전도도의 일시적 증가로 인한 누설전류의 증가에 기인하는 것으로 생각된다.
2. 인가전압의 증가에 따라 누설전류는 급격히 증가하였지만, 침식에 의한 중앙감소는 거의 일정하였는데, 이는 전압이 증가할수록 방전지속시간이 짧아지기 때문으로 생각된다.
2. 방전전류의 전형적인 파형은 정류파의 형태로 나타나는 것을 알 수 있었다.
3. 음이온계 계면활성제를 첨가한 오손액을 사용한 경우, 방전이 하부전극의 국부적인 영역에 집중되어 트래킹과피시간이 짧아졌다.

### [참고 문헌]

- [1]. T. Tanaka, K. Naito, and J. Kitagawa, IEEE Trans. Electr. Insul., Vol.EI-13, No. 3, 1978, pp. 184-193.
- [2]. IEC publ. 587, 2nd edition, 1984.
- [3]. H. Kärner and D.Schulte, 4th Int. Symp. on High Voltage Eng., Athens, 1983, paper No. 45.08.
- [4]. G. A. Mullen and T. W. Dakin, IEEE Conf. paper CH1780-4, 1982, pp.238-241.

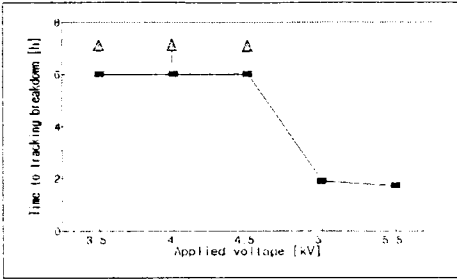


Fig. 1. The Relation Between Time to Tracking Breakdown and Applied Voltage.

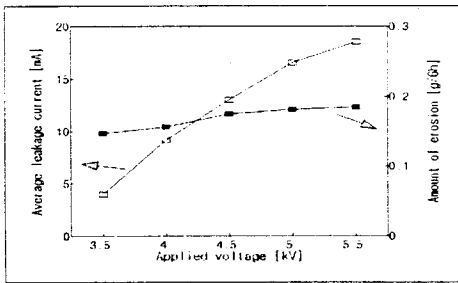


Fig. 2. The Change of Leakage Current and Six-hour Eroded Weight.

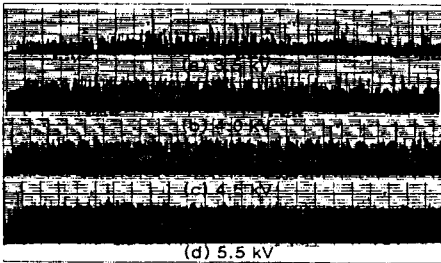


Fig. 3. The Change of Leakage Current Activity.

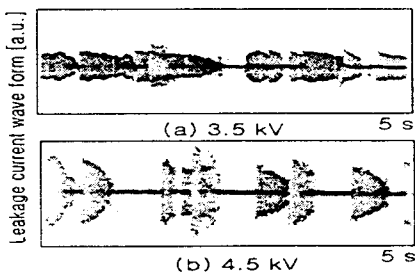


Fig. 4. The Duration of the Scintillation Discharge.

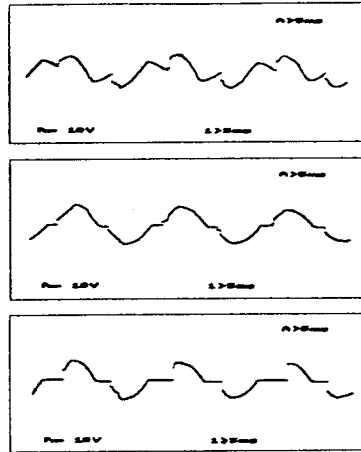


Fig. 5. Typical Waveform of the Scintillation Discharge at 4.5 kV.

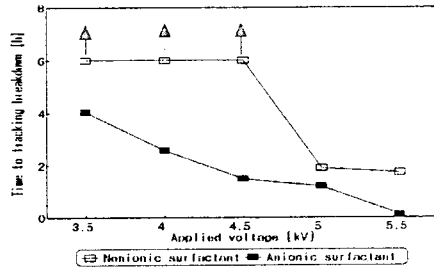


Fig. 6. Time to Tracking Breakdown According to Contaminant and Applied Voltage.

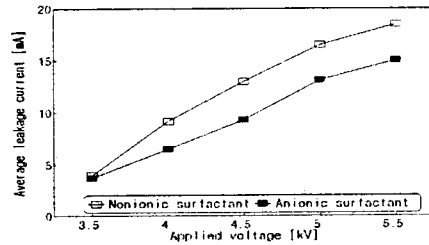


Fig. 7. The Change of Leakage Current According to Contaminant and Applied Voltage.

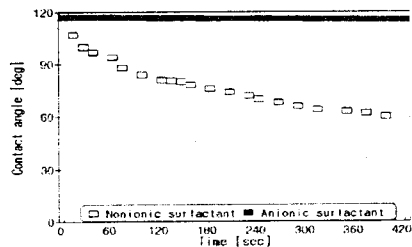


Fig. 8. The Change of Contact Angle of the Center Point Between Top and Bottom Electrode After Tracking Experiment.