

RTV 실리콘 코팅재의 전기적 열화 특성 연구

한세원, 조한구, 한동희

한국전기연구원

Study on electrical ageing properties of RTV silicone coatings

Han Se-Won, Cho Han-Goo, Han Dong-Hee

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

An ageing characteristics of RTV coating materials by corona discharge have been studied. The recovery of a hydrophobicity of RTV coating materials with the thickness of $300\mu\text{m}$ was in identical with a bulk silicone materials. The hydrophobicity of RTV coating materials has been almost lost when its were discharged during 40 seconds by corona with 10kV, and recovered after about 45 hours. But the resistivity of RTV coating materials has not been recovered after 45 hours, even though after 80 hours the 95% of initiation resistivity value has been recovered. There was no critical compounds(such as Si and Al) changes on RTV surfaces by the corona discharge treatment until 100 seconds. In the test of arc erosion, it was seen that the coating sample with silicone rubber as a base material have more longer burn-out time than other samples with FRP or glass base.

Key Words : RTV Silicone Coating, Electrical Ageing Characteristics, Corona Discharge, Hydrophobicity, Arc Erosion, Tracking Test

1. 서론

실리콘 절연 보호 코팅재는 기존 절연물 표면에 친수성을 가지게 하여 오염물질과 수분이 만나서 수용액을 형성하는 것을 방지하여 준다. 또한 아크 트래킹에 대한 내성과 내 자외선, 화학적 안전성을 가지고 있어 일단 코팅된 절연물은 장기적인 신뢰성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이 방법은 장기간 성능을 유지하므로 초기에 설치비용이 드는 반면 제품의 수명이 길어지므로 경제적 효과가 큰 장점을 기대할 수 있다.

코팅재는 내후성과 더불어 내 아크성이 중요하다. 일반적으로 탄소원소를 가지는 복합물질은 높은 에너지를 가하면 분해되어 전기적으로 도전성을 가지게 되어 트래킹 문제와 섬락이 발생하기 쉽다. 따라서 이러한 트래킹 및 아크등에 대한 열화 특성을 검증하는 것은 대단히 중요하다. 현재 절연물

코팅재로 널리 사용되는 것은 실리콘 고분자를 주 원료로 하는 RTV(Room Temperature Vulcanizing)로 기존 자기재 및 유리재 절연물과의 접착성이 우수하고 오염된 상황에서 장기간 발수성을 유지하는 것으로 알려져 있다. 최근 국내에서도 이를 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으며 본 연구에서는 실리콘 코팅재를 코로나 방전시켜 전기적 물성 및 내 트래킹, 내 아크 시험 등을 실시하여 다양한 열화 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 RTV 실리콘 코팅재 시편의 기본 물성은 표 1과 같다.

표 1. RTV 실리콘 코팅제 시편 기본 물성

기본구조 (PDMS)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{R}-\text{Si}-\left\{ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{O}-\text{Si}-\text{R} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right\}_n \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
비중(25℃)	1.19
절연 강도(V/mm)	350
유전율(100kHz)	0.0788
체적 저항(Ω·cm)	1.14×10^{14}

RTV 실리콘의 코팅 방법은 페인팅 방법을 원칙으로 코팅 기저 물질(base material)로는 동질의 실리콘 고무, 유리 및 FRP의 3종류를 대상으로 실험하였다. 스프레이 방법과 페이팅 방법으로 얻어진 코팅 두께는 300 μm 정도를 기준으로 제작하였다. 제작 방법에 따른 표면 및 전기적 물성은 동일한 것으로 나타났다. 시편은 스프레이 및 페인팅 작업 후 24시간 동안 건조로에서 상온 경화시켰다. 그림 1은 표면 코팅이 완료된 시편 사진을 나타낸 것이다.

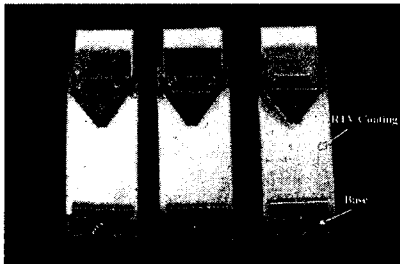


그림 1. 표면 코팅이 완료된 시편

절연 저항은 ASTM D 257 방법에 따라 RTV 코팅제를 필름상으로 만들어 체적 저항(volume resistivity)과 표면 저항(surface resistivity)을 측정하였다[3].

내아크 시험은 전기적 아크에 의한 절연물 표면의 열화특성을 실험하는 것으로 ASTM D 495에 따라 고전압 소전류 아크(수십 mA 이하) 방법으로 7단계 기준에 따라 판정하였다. 트래킹 내구성은 IEC 60587에 따라 경사 평면법(inclined plane method)으로 시험하였다. 트래킹에 의한 표면 절연 파괴는 첫째 고압에서 60mA 이상의 전류가 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간이며, 둘째 도전경로(conducting path)가 하부 전극으로부터 상부로 25

mm 지점까지 형성되는 시간으로 판정한다. 일반적으로 전자를 내 트래킹 특성의 평가 기준으로 이용한다.

실리콘 고무의 소수성은 코로나 방전에 노출되면 산화에 의해 표면 성질을 잃게된다. 코로나 방전 시험에 사용한 방전장치(Tantec GmbH, Denmark)는 인가 전압은 10kV, 시험 주파수는 25kHz 고주파를 사용하여 상온에서 교류 코로나가 발생하도록 구성되었다(그림 2).

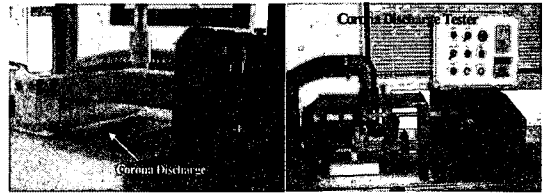


그림 2. 코로나 방전 표면 열화 시험

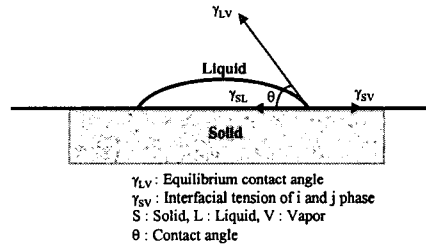


그림 3. 접촉각 측정 등가 모델

RTV 코팅 표면의 코로나 방전 열화에 따른 표면 발수성 회복 특성은 접촉각을 측정하여 확인하였다. 그림 3과 같이 표면 접선과 시험 액체간의 계면 각을 접촉각으로 사용한다. 일반적으로 접촉각을 측정하여 절연물 표면 소수성의 척도로 삼는다. 본 실험에서는 SEO사의 접촉각 측정 장비(모델 SEM 300A)를 사용하여 실험하였다. 코로나 방전 또는 트래킹 시험 후 RTV 코팅 표면의 변화를 SEM과 EDX를 통해 미시적으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 코로나 방전에 의한 표면 열화

일반적으로 고분자 재료는 코로나, 글로우 및 플라즈마와 같은 전기적 방전에 노출되면 표면이 물리적, 화학적 손상을 입는다. RTV 실리콘 코팅 시

편을 코로나 방전에 노출시키면 실리콘 고무 고유의 소수성을 잃고 친수성 표면으로 바뀐다. 그림 4는 코로나 처리 전·후의 RTV 실리콘 코팅 시편의 접촉각 변화 형태를 사진으로 나타낸 것이다. 초기 건전 시편의 경우 접촉각이 117° 정도를 갖는데 이 측정값은 일반적인 실리콘 고무에서 나타나는 값과 일치하는 값으로 300 μm 두께로 얻어진 코팅 시편도 일반 실리콘 고무와 초기 소수성은 동일한 것을 알 수 있다. 하지만 코로나 방전에 의한 표면 변화가 진행되면서 소수성은 점차 잃게 된다. 그림 5에서 보듯이 10kV 고전압을 10초~20초 인가하는 경우 접촉각은 60°로 거의 1/2로 작아지고 40초로 인가시간을 증가시키면 접촉각이 20°로 거의 소수성을 상실하는 표면 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 코로나 방전이 RTV 실리콘 코팅 표면 발수성에 큰 영향을 줄 수 있음을 보여준다.

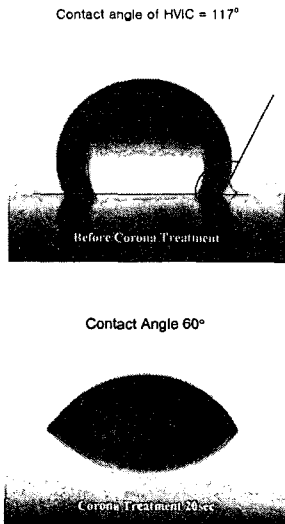


그림 4. 코로나 표면 방전 전·후 접촉각 변화 사진

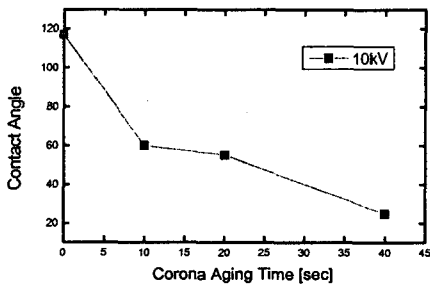


그림 5. 코로나 표면 방전 시간에 따른 접촉각 변화

이미 알려진 바와 같이 실리콘 고무의 경우 표면 열화 후 시간이 지나면서 소수성을 회복하는 특성이 있다. 본 실험에서도 RTV 코팅의 경우도 이러한 특성을 확인 할 수 있었다. 그림 6은 코로나 방전에 의한 표면 처리를 10초, 40초 실시한 시편에 대하여 소수성을 회복하는 특성을 알아보기 위해 회복 시간에 따른 접촉각의 변화를 측정하였다. 두 시편 모두 코로나 처리 시간에 관계없이 약 45시간이 지나면서 초기 코로나 방전 처리를 행하지 않은 접촉각의 값을 회복하는 것으로 나타났다.

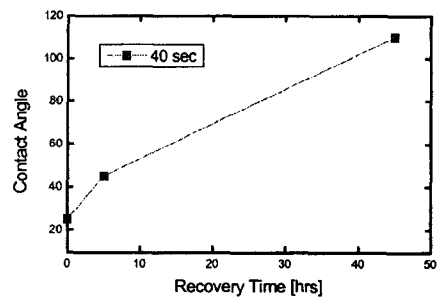
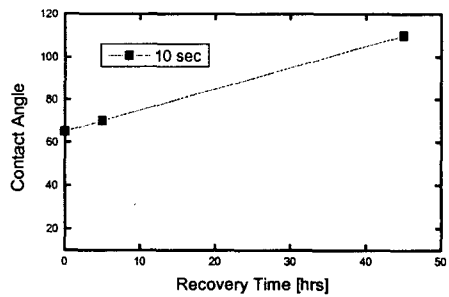


그림 6. 코로나 표면 방전처리 후 소수성 회복특성

3.2 코로나 표면 방전과 전도성 회복 특성

코로나 표면 방전에 의한 열화는 표면 발수성과는 다른 양상으로 나타났다. 그림 7의 전도성 회복 특성시험 결과를 보면 표면 발수성은 45시간이 지나면서 초기 특성을 회복하는 반면 표면 저항과 체적 저항은 48시간이 지난 이후에도 초기값에 1~2 order 낮은 저항값을 갖는다. 그러나 80시간이 지난 후에는 거의 95% 정도 전도성이 회복되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 기존 체적형의 실리콘 고무의 회복 특성과 유사하지만 회복되는 시간이 다소 지연되는 것으로 필름형으로 제작된 시편이 갖

는 영향으로 판단된다. 코로나 방전에 의해 저항이 감소하는 이유는 코로나 방전 열화로 인해 실리콘 코팅 표면의 탄소 농도의 감소와 특히 산소의 농도는 증가와 밀접한 관계가 있다. 이것은 친수성의 하이드록실기(hydrolysis -OH-)가 대기로부터 실리콘 고무 표면에 부착되는 것이 주요한 원인으로 알려져 있다.

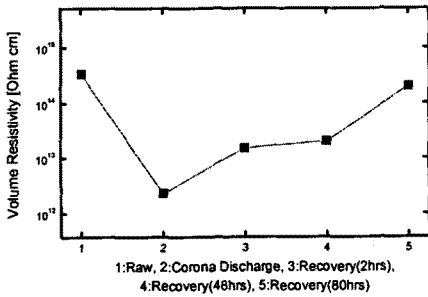
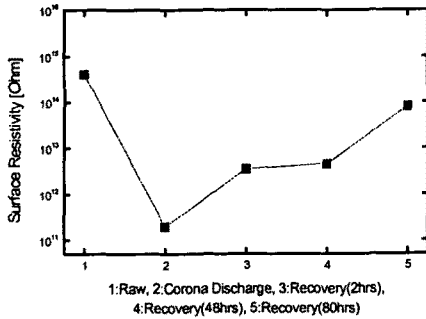


그림 7. 코로나 표면 방전 처리 전·후 체적 저항 회복 특성

3.4 내 아크 및 내 트래킹 특성

전력용 절연물은 표면 오손과 습기에 의해 불평등한 고전계가 형성되면 국부적인 아크가 발생할 수 있다. 따라서 고분자 절연물의 경우 이러한 아크 열화 특성을 검증하는 것이 중요하다. 내 아크 특성 시험은 주로 ASTM D 495에 따라 시험하는데 전극 전압을 12.5kV로 설정하여 실험하게 된다. 표 2는 규격에 따른 아크의 인가 단계와 시간 주기를 나타낸 것이다.

표 2. 아크 시험 단계와 주기(ASTM D 495)

Step	Current(mA)	Time Cycle	Time(sec)
I	10	1/4s on, 1(3/4) off	60
II	10	1/4s on, 1(3/4) off	120
III	10	1/4s on, 1(3/4) off	180
IV	10	continuous	240
V	10	continuous	300
VI	10	continuous	360
VII	10	continuous	420

그림 8에서 알 수 있듯이 코팅 기저 물질에 따라 내 아크 특성이 달리 나타났다. 같은 물질 계열인 실리콘 고무를 기저 물질로 하여 코팅된 시편(1)의 경우 소손(burn out)에 이르는 시간이 5step인 약 300초에서 나타나지만, FRP와 Glass의 경우 4step인 약 250초로 내 아크 특성이 낮은 것으로 확인되었다. 이것은 기저 물질간의 접착력과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 판단된다.

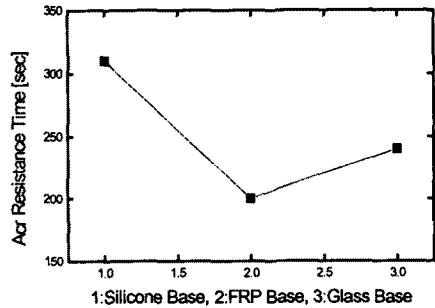


그림 8. RTV 코팅 기저 물질에 따른 내 아크 특성

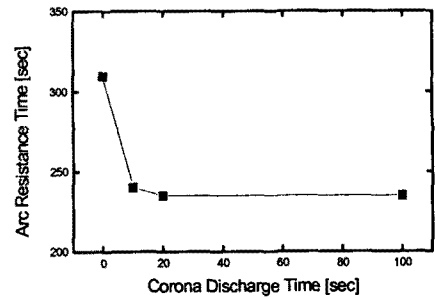


그림 9. 코로나 표면 처리에 따른 내 아크 특성

코로나 방전으로 표면을 처리하는 경우 앞에서 언급한 바와 같이 표면 발수성과 전기적 특성이 현

저히 저하하고 있다. 내 아크 특성에서도 코로나 방전 처리된 코팅 시편의 경우 건전 시편과 비교하여 소손에 이르는 시간이 짧아져 4step인 240초로 실리콘의 최저 내 아크 시간에 해당하는 값이다(그림 9). 그러나 코로나 방전 시간이 20초 이상 100초에 이르는 시편의 경우도 아크에 의한 소손 시간이 더 이상 짧아지지 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

실리콘 코팅재의 코로나 방전에 따른 전기적 특성 시험을 중심으로 한 내 트래킹, 내 아크 특성 등의 다양한 열화 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RTV 코팅재의 경우 코로나 방전 시간에 길어지면 표면 변화가 진행되어 소수성은 점차 저하되었다. 10kV 고전압의 코로나를 10초~20초 인가하는 경우 접촉각은 60°로 거의 1/2로 작아지고 방전 시간을 40초로 증가시키면 접촉각이 20°로 거의 소수성을 상실하였다.
- 2) 코로나 방전에 의한 표면 처리를 10초, 40초 실시한 시편에 대하여 소수성을 회복하는 특성으로 접촉각의 변화를 측정 한 결과, 코로나 처리 시간에 관계없이 약 45시간이 지나면서 초기 코로나 방전 처리를 행하지 않은 접촉각 값을 회복하였다.
- 3) 표면 발수성은 45시간이 지나면서 초기 특성을 회복하는 반면 표면 저항과 체적 저항은 48시간이 지난 이후에도 초기값에 1~2 order 낮은 저항값을 나타내었다. 그러나 80시간이 지난 후에는 거의 95% 정도 전도성이 회복되었다.
- 4) 내 아크 특성은 코팅 기저 물질에 따라 달리 나타났다. 같은 물질 계열인 실리콘 고무를 기저 물질로 하여 코팅된 시편의 경우 소손(burn out)에 이르는 시간이 5step인 약 300초에서 나타나지만, FRP와 Glass의 경우 4step인 약 250초로 내 아크 특성이 낮은 것으로 확인되었다.

참고 문헌

- [1] R. Hartings, "The AC behavior of a hydrophilic and hydrophobic post insulator during rain", IEEE Trans, on Power Delivery, p1584~, 1994.
- [2] R. S. Gorur, T. Orbeck, "Surface dielectric

behavior of polymeric insulation under HV outdoor conditions", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol 26, No. 5, p1064~, 1991.

- [3] ASTM D 257, "Standard test methods for DC resistance or conductance of insulation materials", 1983.
- [4] ASTM D 495, "Standard test methods for high voltage, low current, dry arc resistance of solid electrical insulation", 1984.
- [5] IEC 60587, "Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions", 1984.
- [6] H. Hillborg and U. W. Gedde, "Hydrophobicity recovery of Polydimethylsiloxane after exposure to corona discharges", Polymer, Vol. 39, No. 10, pp. 1991~1998, 1998.
- [7] P. J. Smith, M. J. Owen, P. H. Holm and G. A. Toskey, "Silicone studies of corona treated silicone rubber HV insulation", 1992 IEEE Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Victoria, Canada, pp. 829~836, 1992.