

전도성 수적에 의한 Al₂O₃/실리콘 고무 나노컴포지트의 DC 연면 방전 특성

박지성*, 김지호, 서청원, 권정훈, 임기조
충북대*

The DC Creepage Discharge Characteristics of Al₂O₃/Silicone Rubber Nanocomposites in presence of a water droplet

Ji-Sung Park*, Ji-Ho Kim, Cheong-Won Seo, Jung-Hun Kwon, Kee-Joe Lim
ChungBuk National University*

Abstract - 실리콘 고무는 옥외용 폴리머 에자 또는 부상 등에 주로 사용되고 있으며, 이에 대한 연구가 많이 진행되어 지고 있다. 최근에는 나노 기술이 발달함에 따라 전기 재료에 나노 사이즈의 필러를 첨가하여 재료의 특정 특성들을 향상시키는 연구들이 진행되어 지고 있다. 본 논문에서는 전기적인 성능을 향상시키고자 나노 사이즈의 Al₂O₃를 첨가한 상온 경화형 실리콘 고무에 대한 연구를 진행하였으며, DC 전계와 오염 상황 하에서 연면 파괴 강도를 측정하였으며, 접촉각과 표면 저항률을 측정하였다. 실험 결과, 필러 함량이 증가할수록 연면 절연 파괴 강도와 표면 저항률은 증가하였으며 접촉각은 감소하였다. 또한, 일정 함량 이상에서는 연면 절연 파괴 강도와 표면 저항률이 감소하는 것으로 나타났다.

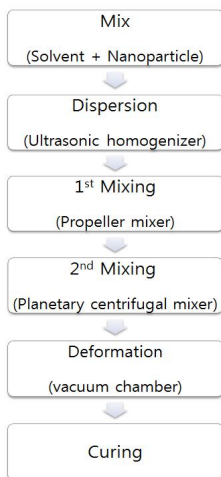
1. 서 론

실리콘 고무는 40여 년 전부터 개발되어, 내열성, 내후성, 내광성, 산화안정성 등 여러 가지 우수한 물성을 가지고 있으며 전기적 특성 또한 우수한 이유로 현재까지도 절연재료로써 널리 쓰이고 있다. 따라서 실리콘 고무를 오염에 대한 특성, 부분방전, 트래킹 실험, 뇌 임펄스 실험 등 여러 방면에 걸쳐 연구가 되어져 왔으며, 나노 기술이 발달함에 따라 실리콘 고무에 나노 입자를 섞어 특정 성능을 향상시키는 연구들이 진행되어 지고 있다.

또한 최근에는 대용량, 장거리 송전에서 HVDC 기술의 중요성이 주목됨에 따라 HVDC 시장이 급속도로 성장하고 있으며, 그에 따라 HVDC 용 전력기기에 사용되는 전기 재료에 대한 연구가 더욱 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 Al₂O₃를 나노 필러로써 사용한 실리콘 고무에 대해 전도성 물방울로 오염되어 있는 특정 상황을 모의하여 DC 연면 방전 특성을 보고자 하였다.

2. 시 편

2.1 시편 제작



<그림 1> 시편 제작 공정도

주 재료는 Shin-Etsu 사의 RTV 실리콘 고무(KE-1402)와 경화제(CAT-1402)를 이용하였으며, 나노 필러는 Nanostructured & Amorphous Materials Al₂O₃를 사용하였다.

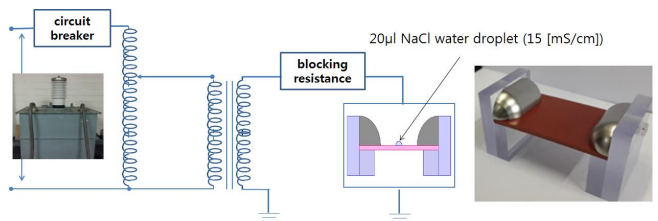
2.2 실험 시편 구성

<표 1> 시편 구성

Symbol	Creepage distance [mm]	Base	Additive	Content [wt%]	Filler Size [nm]
SR0	34	Silicone Rubber	Al ₂ O ₃	-	-
SR1				1	10
SR3				3	
SR5				5	

3. 실험

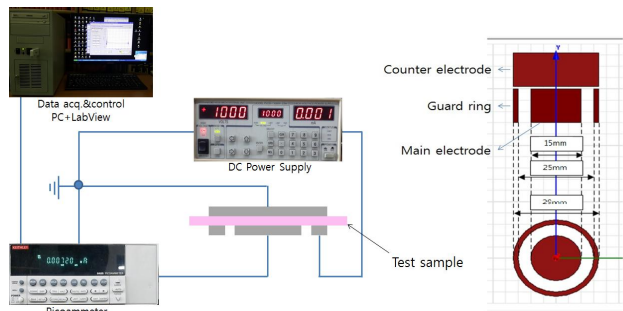
3.1 연면 절연 파괴



<그림 2> DC 연면 절연 파괴 실험 회로 및 실험 지그 구성

<그림 2>에서 실험 지그의 전극은 길이 50 [mm], 곡률반경 15 [mm]로 제작되었으며, 전극 간 거리는 34 [mm]로 고정시켰다. 또한 오염 상황 하에서의 DC 연면 파괴 강도를 보기 위해, 15 [mS/cm]의 전도도를 갖는 물방울 20[µl]를 시편의 중앙에 떨어뜨린 후 연면 방전 실험을 진행하였다. 연면 방전이 일어날 때까지 1kV/s의 속도로 전압을 상승시켰으며, 와이블 분포를 이용하여 데이터 처리를 하였다.

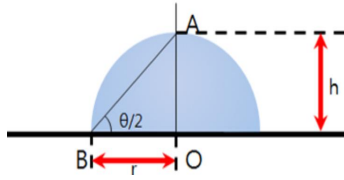
3.2 표면 저항률



<그림 3> 표면 저항률 측정 실험 회로도 구성 및 3전극 시스템

IEC 60093 규격에 따라 <그림 3>과 같은 3전극 시스템을 이용하여 시편의 누설전류를 측정하여, 각각의 표면 저항률을 도출하였다. 또한 누설전류 측정 시, 순시 충전 전류와 흡수 전류의 영향을 배제하기 위하여, 평형 누설 전류에 도달할 때 까지 충분한 시간(1시간 이상) 동안 누설전류를 측정한 후 데이터를 취득하였다.

3.3 접촉각



〈그림 4〉 접촉각 측정

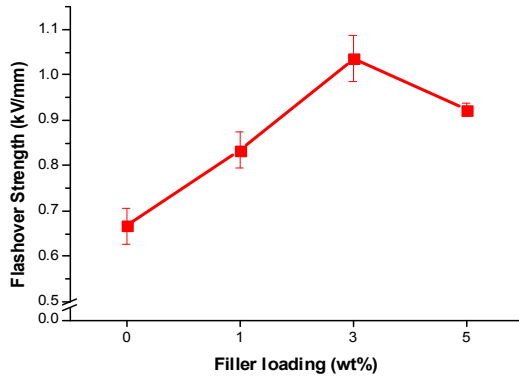
KSL2110 규격에 따라 접촉각을 측정하였으며, 마이크로 피펫을 이용하여 4 [μl]의 물방울을 시편 표면에 떨어뜨려 측정하였다.

4. 실험 결과

4.1 연면 절연 파괴

〈표 2〉 필러 함량에 따른 연면 절연 파괴 강도

Filler loading [wt%]	0	1	3	5
Flashover Strength [kV/mm]	0.67	0.83	1.04	0.92

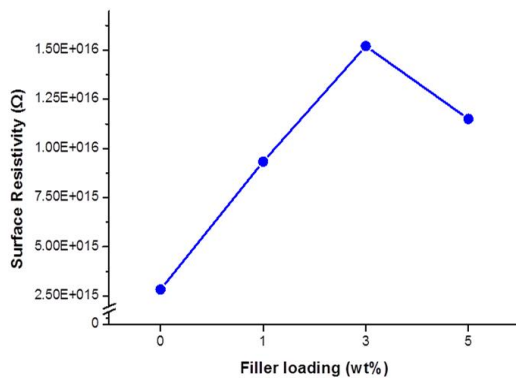


〈그림 5〉 필러 함량에 따른 절연 파괴 강도

4.2 표면 저항율

〈표 3〉 필러 함량에 따른 표면 저항율

Filler loading [wt%]	0	1	3	5
Surface Resistivity [Ω]	2.83E+15	9.33E+15	1.52E+16	1.15E+16

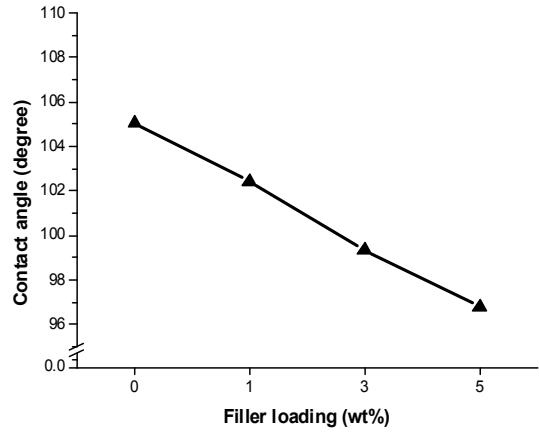


〈그림 6〉 필러 함량에 따른 표면 저항율

4.4 접촉각

〈표 4〉 필러 함량에 따른 접촉각

Filler loading [wt%]	0	1	3	5
Contact angle [degree]	105.07	102.42	99.33	96.79



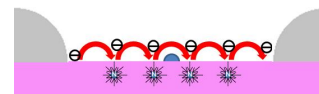
〈그림 7〉 필러 함량에 따른 접촉각

연면 절연 파괴 강도는 SR1과 SR3에서 증가하는 경향을 보였으며, SR5는 감소하는 경향을 보였다. 표면 저항율 또한 연면 절연 파괴 강도와 유사한 경향을 보였으며, 접촉각은 필러의 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

4. 결론

본 연구는 DC 전계 하에서 연면 절연 파괴 특성을 보았다.

1. SR1과 SR3에서 연면 절연 파괴 강도는 증가하였다.
 2. SR5에서는 연면 절연 파괴 강도가 감소하였다.
 3. 필러가 증가함에 따라 소수성은 감소하였다.
- 연면 파괴 강도는 표면 저항율에 의존하며, 이 표면 저항율의 증가는 〈그림 8〉과 같이 나노 필러가 전자 트랩으로 작용하여 전자사태의 진전을 저지시켰기 때문으로 사료된다. 또한 SR5에서 표면 저항율과 연면 절연 파괴 강도가 감소하는 것은 나노 필러가 불순물로 작용했기 때문이라 사료된다. 이러한 효과는 T. Tanaka의 멀티코어 모델에 의해 설명되어 질 수 있다.[1]



〈그림 8〉 나노 필러의 전자 트랩 효과

[참 고 문 헌]

- [1] Toshikatsu Tanaka, "Proposal of a Multi-core Model for Polymer Nanocomposite Dielectrics", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 12, No. 4, August 2005.