

에자용 실리콘 고무의 전압인가시간에 따른 부분방전특성

김탁용, 이혁진, 신현택, 이수원, 이창형*, 홍진웅
 광운대학교 전기공학과, * 철도대학 제어과, ** 이엔아이(주)

Partial Discharge Characteristics of Silicone Rubber for Insulators due to Applying Voltage Time

T.Y. Kim, H.J. Lee, H.T. Shin, S.W. Lee, C.H. Lee, J.W. Hong
 Kwangwoon Univ., * Korea Railroad College, ** E&I Ltd.

Abstract - 전기절연체로서의 성능이 우수하며, 다른 물질과의 결합 및 성형의 편리성 및 경량화에 부합할 수 있는 실리콘 고무의 사용이 급증하고 있다. 이에 본 논문에서는 현수애자에 사용중인 실리콘 고무를 선택하여 제조시에 발생할 수 있는 내부보이드에 대한 전기적특성을 알아보기 위해 실리콘 고무를 3층으로 적층하여 중간층 중심에 비슷한 체적으로 인공보이드를 원통 및 삼각기둥형의 보이드를 제작하여 보이드형상 변화에 따른 부분방전전하량을 측정하였다. 위상(Φ)-전하량(q)-빈도(n)에 대한 데이터를 3차원그래프로 나타냈으며, 또한 평균방전전류 및 방전전력 변화를 통한 보이드 결합 특성을 파악하였다.

그 결과, 전압인가 시간에 따라 원통보이드의 경우 초기에는 방전전류 및 방전전력이 증가하다가 일정시간이 경과하면 감소하는 형태를 나타냈으며, 삼각기둥보이드의 경우 계속적으로 증가하는 모습을 보여주었다.

1. 서 론

전기 에너지가 차지하는 비율은 매년 증가하고 있으며, 국내의 경우 2001년에 약 5천만(kWh)의 설비용량을 가지고 있으며, 발전량도 1998년 약200억(kWh)였던 것이 2001년에 290억(kWh)로 년 6[%]이상의 성장률을 나타내고 있다⁽¹⁾. 또한 발전소의 입지제약으로 장거리 송전을 통하여 실수요지에 도달하는 형태를 취하고 있다. 그러므로 발전된 전력을 효율 좋게 전송하기 위해서는 고전압으로 송전하는 것이 필요하며, 이것에 수반한 발전기, 변압기, 가스개폐장치(GIS), 케이블 등의 전력기는 최근 대용량화, 고전압화 혹은 고밀도화, 고성능화 등의 현저한 기술적 발전을 요구하고, 이들 기기의 신뢰성은 직접 전력공급의 신뢰성에 결부되어진다. 한편으로 안정된 송전선로의 안정화를 통해 전력공급의 신뢰성 또한 증가할 것이다.

이에 절연재료의 절연성능이 우수성뿐만 아니라, 환경성 및 제작의 편리성 등을 요구하는 경우가 많아지고 있다. 그로 인해 현재 절연재 및 물딩재를 성형 및 가공이 용이하고, 제반특성이 기존 무기절연체보다 우수한 고분자의 사용이 증가하게 되었다. 특히, 실리콘 고무는 우수한 내열성, 내한성, 내후성 및 전기특성 등과 같은 제반특성뿐만 아니라, 고무상, 액상, 수지상 등 다양한 제품의 형태를 만들 수 있고, 또한 다른 재료와의 결합성이 우수하여, 자체적으로 가질 수 없는 제반특성을 다른 물질로 보완할 수 있다는 특성과 기존의 무기질 재료에 비해 가볍기 때문에 시공의 편리성 또한 제공하고 있다⁽²⁾.

본 연구에서는 현재 현수애자에 사용되고 있는 실리콘 고무를 이용하여 제품 제작시에 발생할 수 있는 내부보이드 형상에 대한 부분방전 특성을 파악하기 위하여 원통과 삼각기둥형상의 인공보이드를 성형하여 실험하였다. 또한 보이드내에서 전하 집중현상을 알아보기 위하여 인가시간에 따른 평균방전전류를 측정하였으며, 절연체의 성능저하에 영향을 주는 평균전력량을 측정하였다⁽³⁾.

그 결과, 원통보이드의 경우 시간 경과에 따라 초기에는 평균전류 및 평균전력이 증가하다가, 일정시간이 지난 후 낮아지는 상태를 나타낸 반면, 삼각기둥보이드의 경우 시간의 경과에 따라 평균전류 및 평균전력이 급속히 증가하는 것을 볼 수 있었다.

2. 실험방법

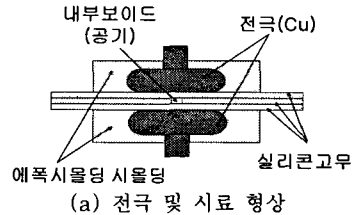
2.1 시료

본 실험에서 사용한 시료는 실제 애자용 절연체로 사용되는 D사의 실리콘 고무를 사용했다.

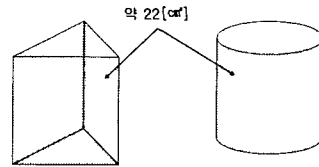
내부 결합에 대한 부분방전특성을 연구하기 위하여 그림 2-1과 같은 3층을 적층한 후 중간층에 인공보이드를 삽입하여 실험하였다.

시편의 두께는 모두 750(μm)로 하였으며, 보이드의 크기는 약 22(cc)로 제작했다.

그림 1에서 (a)는 시료와 전극장치의 모양을 나타내고 있으며, (b)는 보이드의 형상을 나타내고 있다.



(a) 전극 및 시료 형상



(b) 보이드의 형상

그림 2-1 부분방전실험 전극 및 보이드의 형상
 Fig. 2-1 Geometry of specimen and void

2.2 실험방법

본 실험에서 부분방전특성을 파악하기 위하여 AVO사의 고전압 발생장치 및 3D 데이터 acquisition 프로그램을 이용하였으며, 인가전압은 AC 5(kV), 60(Hz)를 사용하였으며, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60분 후 데이터를 acquisition하였다. 또한 방전에너지의 변화량 및 방전전류를 각각 계산하였다.

그림 2-2는 부분방전 검출회로의 개략도를 나타내고 있다.

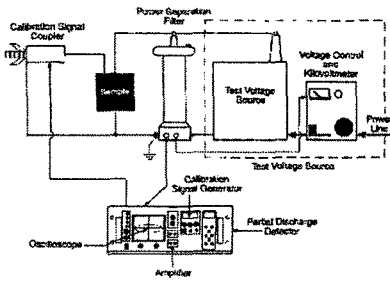
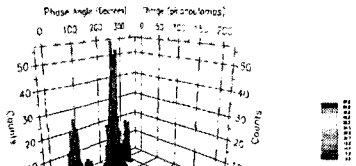


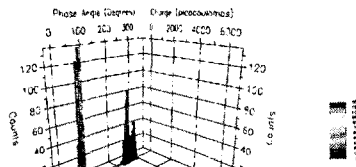
그림 2-2 부분방전 검출회로
Fig. 2-2 Detection circuit for PD

3. 결과 및 고찰

3.1 인가시간에 따른 부분방전특성

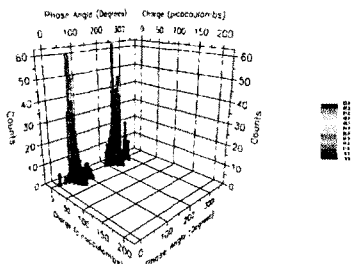


(a) 원통보이드

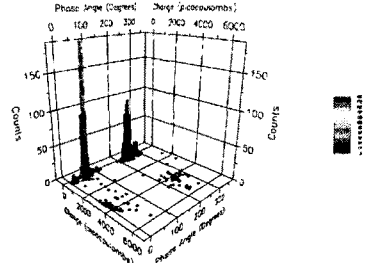


(b) 삼각기둥보이드

그림 3-1 부분방전특성 (5(kV)-1(min))
Fig. 3-1 Characteristics of PD(5(kV)-1(min))

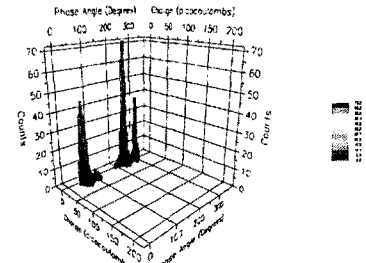


(a) 원통보이드

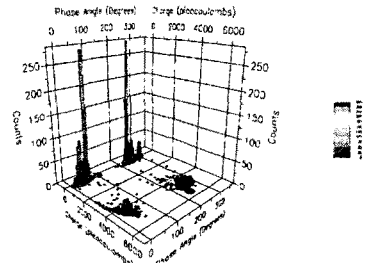


(b) 삼각기둥보이드

그림 3-2 부분방전특성 (5(kV)-5(min))
Fig. 3-2 Characteristics of PD(5(kV)-5(min))



(a) 원통보이드



(b) 삼각기둥보이드

그림 3-3 부분방전특성 (5(kV)-30(min))
Fig. 3-3 Characteristics of PD(5(kV)-30(min))

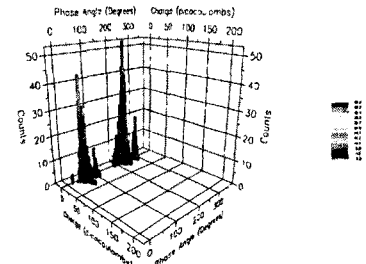


그림 3-4 부분방전특성그래프 (5(kV)-120(min))
Fig. 3-4 Characteristics of PD(5(kV)-120(min))

그림 3-1과 3-2는 전압인가 후 초기 부분방전특성을 나타내고 있다. 그림에서 원통보이드의 경우 1분이 경과한 경우 위상이 70-80도와 230-250도 부근에서 방전 전하가 균집하였고, 230-250도 부근에서 가장 높은 빈도를 나타내고 있다. 그러나 삼각기둥보이드의 경우 1분이 경과한 후 원통보이드의 경우와 발생위상이 비슷하지만, 70-80도 부근에서 최대빈도가 나타나는 차이점이 발생함을 볼 수 있었다. 그러나 5분 경과후의 경우 삼각기둥보이드는 최대 방전전하량이 6000(pC) 근처까지 나타남을 볼 수 있다. 또한 최대방전전하량이 부의 위상 (230-270도) 부근에서 빈도수가 증가함을 볼 수 있다.

그림 3-3과 그림 3-4는 전압인가 후 30분 이상 경과 후의 부분방전특성을 나타내고 있다. 그림에서 원통보이드의 경우 그림3-2(a)에 비해서 방전빈도수 및 방전전하량이 감소함을 볼 수 있으며, 이에 반해 삼각기둥보이드의 경우 그림 3-2(b)보다 빈도수가 크게 증가했음을 볼 수 있었다. 또한 30분 이후에는 방전전하량이 급격히 증가하여 최대 트립전하량을 초과하였다. 이러한 현상은 삼각기둥보이드의 경우 보이드내의 각진 부분에 전계의 집중현상을 유발하여 방전전하량의 증가를 초래하였다고 생각되어진다.

3.2 시간경과에 따른 평균방전전류특성

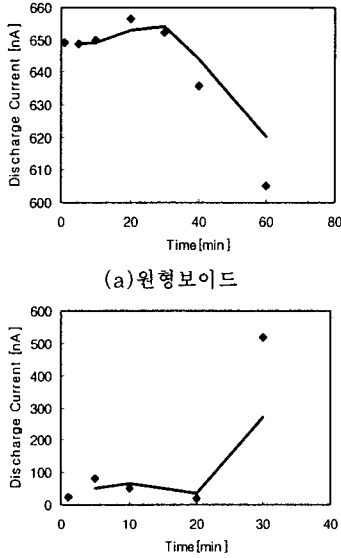


그림 3-5 시간변화에 따른 평균방전전류
Fig. 3-5 Average discharge current due to applying voltage

그림 3-5는 원통보이드와 삼각기둥보이드의 전압인가 시간에 따른 평균부분방전전류를 나타내고 있다.

그림에서 보인 원통보이드의 경우 시간경과에 따라 초기에는 서서히 증가하다가 일정시간이 경과한 후 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 형태는 일반적으로 안정한 상태로 진행하다가 30분 경부터 서서히 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이에 반해 삼각기둥보이드의 경우 초기에는 원통보이드보다 작은 값으로 안정한 상태를 나타내다가 20분이 경과하면서 급속히 방전전류가 증가하는 것을 볼 수 있다.

이러한 현상은 보이드에 가해진 전압에 의해 방전을 개시하지만 축적전하에 의한 역전계 때문에 방전은 정지하고, 이 경우 보이드 전압은 저하하게 된다. 또한 방전에 수반한 외부로부터 축적된 전압 또한 저하하고, 측정되는 방전전하량은 감소하게 되기 때문이라고 생각된다^{[4],[5]}.

3.3 시간경과에 따른 평균방전전력특성

그림 3-6은 각각 원통보이드와 삼각기둥보이드의 평균방전전력을 나타내고 있다.

그림에서 보인 원통보이드의 경우 초기에는 매우 미약하게 전력량이 증가하다가 40분 경부터 서서히 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 삼각기둥보이드의 경우 20분이 경과하면서 전력량이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다.

이러한 현상은 앞에서 설명한 바와 같이 시간의 경과

에 따라 삼각기둥보이드의 경우 곡률반경이 좁은 부분(각진 부분)에 전계집중을 유발하여 절연체의 전기적열화의 증가를 유도하고 이로 인해 전기적열화의 척도이 방전전력의 증가를 볼 수 있다고 생각되어진다^[3].

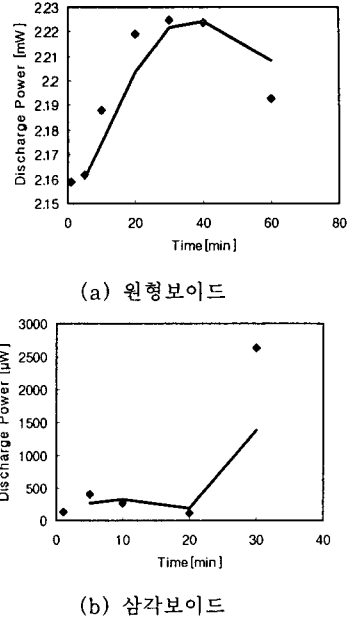


그림 3-6 시간변화에 따른 평균방전전력
Fig. 3-6 Average discharge power due to applying voltage

4. 결 론

애자용 실리콘 고무에서 인공보이드에 의한 열화 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 인공보이드에서 원통보이드의 경우 부분방전특성이 전압인가시간에 따라 안정한 상태를 보이는 반면, 삼각기둥보이드의 경우 급속하게 증가함을 알 수 있었다.
2. 원통보이드의 경우 평균방전전류가 전압인가 초기에 안정한 상태를 유지하다가 20-30분을 경계로 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 삼각기둥보이드의 경우 초기에는 낮은 방전전류를 보이다가 20분을 경계로 급속히 증가하는 것을 볼 수 있었다.
3. 방전전력의 경우 원통보이드의 경우 서서히 증가하다가 40분을 기점으로 감소 형태로 보이는 반면, 삼각기둥보이드의 경우 낮은 값으로 서서히 증가하다가 30분을 기점으로 급속히 증가하는 것을 볼 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사경영정보처, "간추려 본 한국전력", 한국전력공사, pp.19-47, 2002.6.
- [2] 丸山の 33인, "シリコンとその応用"東芝シリコン株式会社, pp.39-71, 1988.
- [3] F.H.Kreuger, "Parial Discharge Detction in High-Voltage Equipment", Typeset by Latimer Trend Company Ltd., p31, 1989.
- [4] 大木正路, "高電壓工學", 槇書店, pp.256-259, 1980.
- [5] F.H.Kreuger, "Parial Discharge Detction in High-Voltage Equipment", Typeset by Latimer Trend Company Ltd., pp.130-139, 1989.