

## 내부보이드 형상변화에 따른 전기적열화특성

김탁용, 김관식, 고길영, 이수원, 이충효, 이창철, 김귀열, 홍진웅  
광운대학교, 한국철도대학, 충주대학교, 이덴아이(주), 한국기술교육대학교

### Characteristic of Electrical Degradations due to Variation of Internal Void Shape

T.Y.Kim, K.S.Kim, K.Y.Ko, S.W.Lee, C.H.Lee, C.H.Lee, G.Y.Kim, J.W.Hong  
Kwangwoon Univ., Korea Railroad College, Chungju Univ., E&I Ltd., Korea Univ. of Technology and Education

#### Abstract

산업의 고도화 및 환경오염의 문제로 1970년대부터 실리콘고무를 이용한 애자의 사용이 시도되기 시작되었다. 그로 인해 실리콘고무의 표면열화에 대한 수많은 연구가 현재까지 행해지고 있다. 그러나 고온성형압축방식으로 제작하는 유기애자의 경우 제조시 발생할 수 있는 내부보이드에 대한 연구는 미흡한 현실이다. 이에 본 연구에서는 실리콘고무의 내부보이드의 형태변화에 따른 전기적열화특성을 연구하기 위하여 3층으로 격층시킨 실리콘 고무의 중간층에 임의적으로 4가지형태의 내부보이드를 성형하여, 전압을 변화시키면서 방전전류 및 방전전력을 측정하였다.

그 결과, 보이드의 존재로 방전전류 및 방전전력의 증가를 볼 수 있었으며, 보이드형상의 내부각이 좁을수록 방전전류 및 방전전력값이 커지는 것을 볼 수 있었다.

**Key Words : Degradation, Silicone Rubber, Internal Void, Organic Insulator**

## 1. 서 론

1950년대 이후 에폭시계 애자의 개발을 시작으로 트리킹, 오염 발생이나 갓부분의 전기관통 등 각종 문제점이 발생하여 개량을 위한 수많은 연구를 통해 1970년대에 FRP섬유를 심재로 이용한 현행의 가공송전용 유기애자의 구조가 고안되었다. 외피 고무로서는 초기에는 많은 변화가 있었지만, 1970년대 중반부터 내후성이나 오손내전압 특성이 우수한 실리콘 고무의 적용이 시작되어 오늘날에 이르게 되었다. 국제적으로 IEC가 규격화 및 규격개정작업을 거쳐 정리되었고, CIGRE나 IEEE등에서도 각종 위원회에서 유기애자의 연구가 진행되었다[1].

그러나, 대부분의 연구방향이 기존의 세라믹애자의 대용으로 개발되다보니 대부분의 연구가 환경열화에 의한 애자용 고분자 재료의 표면특성변화에 대한 연구가 많았다[2]. 그러나 유기애자의 경우 대부분 고온성형압축형식을 취하는 경우가 많으므로 제작시 내부에 보이드가 발생할 수 가 있

을 것으로 생각되며 이로 인한 절연특성변화가 발생될 것으로 생각되어진다. 이에 본 연구에서 유기애자의 제조시 발생할 수 있는 내부보이드의 형상을 변화에 따른 전기적특성을 연구하기 위해 실리콘고무를 3층으로 적층하여, 중간층에 인공보이드를 원통, 사각기둥, 삼각기둥의 형태로 성형하여, 전압변화에 따른 방전전류와 전기적열화의 정도를 측정하는 평균전력량을 측정하였다.

그 결과, 무보이드, 원통, 사각기둥 보이드의 경우 방전전류 및 방전전력의 모습이 비슷한 형태로 진행되고, 보이드의 유무에 따라 방전전류 및 방전전력이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 삼각기둥보이드의 경우는 급격히 변화하는 것을 볼 수 있었다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 AVO사에서 제작된 부분방전측정장치를 사용했다. 인가전압으로 교류전압 60[Hz]를

사용했으며, 3, 5, 5.5, 6, 6.5, 7[kV]로 변환하여 평균방전전류 및 평균방전전력을 측정하였다. 표 1은 실험조건을 나타내고, 그림 1은 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

표 1. 실험조건  
Table 1. Condition of test

보이드의 종류	인가전압 [kV]	보이드면적 [ $\mu\text{m}^2$ ]
원통	3.0	21.195
	5.0	
	5.5	
	6.0	
	6.5	
사각기둥	7.0	22.7
		21.65

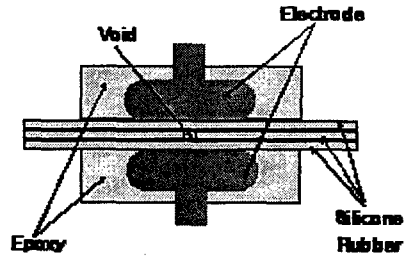


그림 2 . 전극형상  
Fig. 2 . Shape of electrode

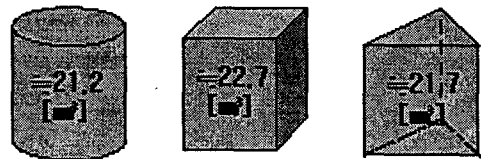


그림 3 . 보이드형상  
Fig. 3 . Shape of void

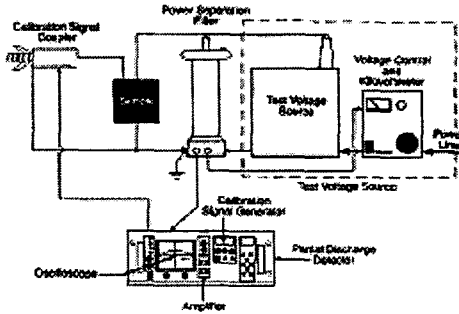


그림 1. 부분방전 검출회로  
Fig. 1. Detection circuit for PD

2.2 시편

애자용 실리콘 고무의 내부보이드 형상 및 보이드 내부각의 변화에 대한 방전전류특성 및 전기적 열화특성을 파악하기 위하여 실리콘고무를 3층으로 적층하고, 중간층에 무보이드, 원통보이드, 사각기둥보이드, 삼각기둥보이드를 각각 제작하여 적층하였다.

시편의 두께는 모두 750[ $\mu\text{m}$ ]로 하였으며, 보이드의 크기는 약 22[ $\mu\text{m}^2$ ]로 제작했으며, 보이드 내부는 공기로 채워진 상태를 유지했다.

그림 2는 전극의 형상 및 시료모습을 나타내고 있으며, 그림 3은 보이드의 모양 및 체적을 나타내고 있다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 무보이드에 상태에서 평균방전전류 및 평균방전전력을 나타내고 있으며, 그림 5-7은 보이드의 형상 변화에 따른 평균방전전류 및 평균방전전력을 나타낸 것이다.

무보이드에서 보게 되면 방전전류가 직선적으로 변화하는 것을 볼 수 있으며, 전압이 5에서 7[kV]로 변화시 방전전류값은 약 54.4[nA]가 증가함을 볼 수 있다. 전기적 열화의 상태를 나타내는 방전전력의 경우 전압의 증가에 따라 제곱함수의 형태로 변화한다.

그림 5의 경우는 원통보이드에서의 방전전류 및 방전전력특성을 나타내고 있다. 전류의 특성은 무보이드와 형태는 비슷하지만 수치값이 86[nA]의 값을 나타내는 것을 볼 수 있으며, 무보이드에 비해서 거의 약 1.7배 증가함을 볼 수 있다.

사각기둥보이드의 경우(그림 6) 전압이 2[kV]증가시 방전전류가 404[nA]로 증가함을 볼 수 있는데 이는 무보이드에 비해서 약 8배에 해당하는 수치로 보이드 내부각이 좁아짐에 따른 방전전류값이 급격히 증가함을 보여주고 있다.

삼각기둥보이드의 경우(그림 7)은 5[kV]가 넘어가면서 트립전하량 이상으로 증가하여 비교값을 볼 수는 없었지만 증가폭이 원통 및 사각기둥보이

제5회 일렉트렛 및 응용기술 연구회

드보다도 더 급격히 변화하는 것을 볼 수 있었다. 또한 원통과 사각기둥보이드의 경우 5[kV]에서 각각 약 105, 410[nA]의 값을 나타남을 볼 수 있었으며, 삼각기둥보이드의 경우 사각기둥보이드에 비해서 낮은 약 400[nA]의 값을 나타내지만 변화량을 보면 사각기둥보이드에 비해 급격히 변화하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 보이드의 존재로 전극사이에 기체유전체와 고체유전체가 직렬로 존재하는 상황이므로 기체부분에 가해진 전계강도는 실리콘고무만 존재하는 전계강도보다 크기 때문에 평균방전전류가 보이드에 의해 증가하는 것으로 생각되어진다[3]. 또한, 보이드내에서의 전계의 집중은 보이드 내부각이 좁아질수록 전계의 집중이 증가하므로, 원통, 사각기둥, 삼각기둥의 순으로 내부각도가 좁아짐으로 전계의 집중이 더욱 증가함을 볼 수 있었다.

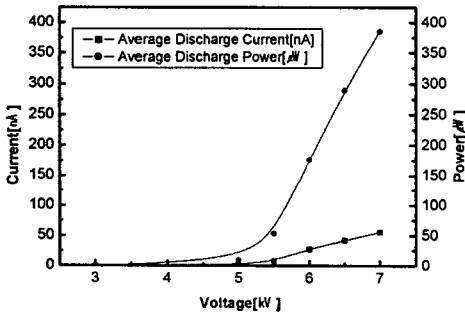


그림4. 부분방전특성(무보이드)  
Fig.4. Characteristic of PD(No void)

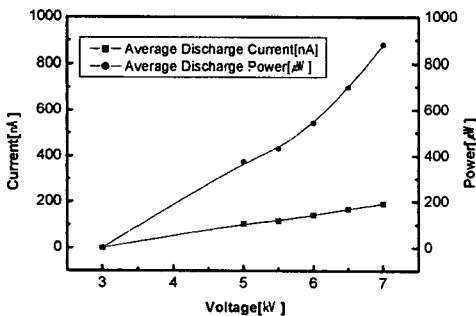


그림5. 부분방전특성(원통보이드)  
Fig.5. Characteristic of PD(Cylinder void)

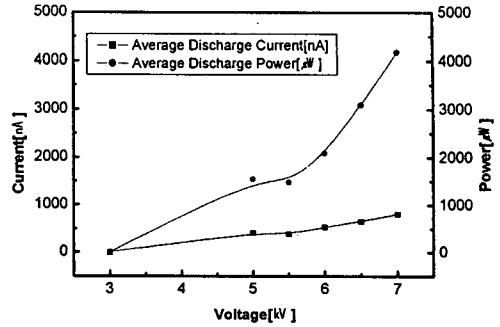


그림6. 부분방전특성(사각기둥보이드)  
Fig.6. Characteristic of PD(Square pillar void)

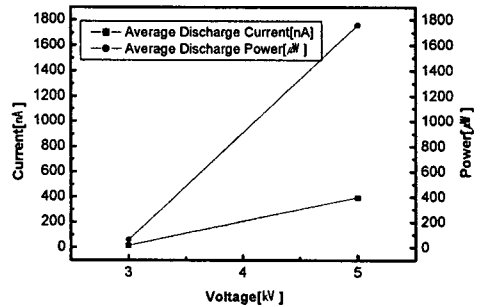


그림7. 부분방전특성(삼각기둥보이드)  
Fig.7. Characteristic of PD(Triangular-prism void)

또한 보이드내부에 전계집중현상 증가함에 따라 전기적열화가 증가할 수 있으므로, 전기적 열화에너지를 나타내는 평균방전전류의 증가한다고 생각되어진다[4][5].

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 전압의 증가에 따라 방전전류가 증가하는 것을 볼 수 있었다.
- (2) 보이드에 의해 방전전류 및 방전전력이 크게 증가함을 볼 수 있었다.
- (3) 각진 보이드의 내부각이 좁을수록 높은 방전전류 및 전력값을 나타냈다.

참고 문헌

- [1] 丸山外 33人, “シリコンとその?用” 東芝シリコン株式會社, pp.39-71, 1988.
- [2] “架空送電用有機がいしの現狀と今後の展望“, 電氣協同研究會, Vol.56, No.1, 2000.
- [3] 大木正路, “高電壓工學”, ?書店, p208, 1980.
- [4] Charles Kittel, “Introduction to Solid State Physics”, Kittel, pp.384-392, 1996.
- [5] P.Hartherz, Th.Brosche, W.Hiller, W.Langguth, “METHODS OF CALCUL- ATING THE FIELD ENHANCEMENT DEPENDING ON VOID SHAPE, High Voltage Engineering Symposium, pp.127- 131, 1999.