

진공에서 절연체의 연면거리에 따른 파괴전압 분석

윤재훈*, 임종남, 임기조, 강성화**
 충북대학교*, 충청대학**

Analysis of Surface Flashover Depending on Insulator Gap Distance in Vacuum

Jae-Hun Yoon*, Jong-Nam Lim, Kee-Jo Lim, Seong Hwa Kang**
 Chungbuk University*, Chungcheong University**

Abstract - In a wide variety of high-voltage applications surface flashover plays major role in the system's performance and yet has not been studied in great detail for vacuum conditions with modern diagnostic tools. surface flashover for both direct current and pulsed voltages in considered. within the setup, parameters such as geometry, material characteristics of the applied voltage can be altered. This paper review surface flashover of insulator, primarily in vacuum. It discusses theories and models relating to surface flashover and experimental results. surface flashover of insulators in vacuum generally is initiated by the emission of electrons from the cathode triple junction point (the region where the electrode, insulator, vacuum). the electrode material was copper, and a AC voltage was applied between the electrodes. these results were compared with the surface flashover characteristic of insulator at results, surface flashover influenced only insulator surface condition. and increasing vacuum pressure was risen breakdown voltage.

체 유전체 표면에서의 파괴와 재료 물성의 변화를 수반하는 방전현상이다. 일반적으로 연면 방전 메카니즘은 그림 1과 같이 3가지로 구분 할 수 있다. 가장 일반적으로 알려진 메카니즘은 유전체의 표면을 따라 진행되는 전자 캐스케이드 또는 2차 전자방출 에벌런치이다. 삼중점으로부터 전계방출된 전자의 일부는 유전체의 표면에 충돌하여 2차 전자를 방출한다. 이들 전자의 일부는 유전체 표면에 또다시 충돌하면서 3차 전자를 발생시킨다. 이 과정이 지속되면 2차 전자방출 에벌런치로 방전하는 유전체 표면을 따라 캐스케이드가 발생한다. 이 때, 연면방전은 2차 전자방출 에벌런치가 절연과파까지 완전히 진행된 경우이다.

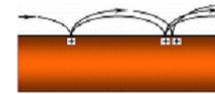
1. 서 론

최근 산업발달에 따른 전력수요 급증에 따라 전력 설비의 대용량화 및 신기술 개발의 필요성이 요구되고 있다. 현재의 전력기기의 추세는 소형, 경량화 및 친환경적으로 변화를 요구하고 있으며, 국내에서도 제도적으로 규제가 되어지고 있다. 기체는 환경오염의 제약으로, 액체인 절연유는 설치공간 및 제품의 하중의 문제에서 제약을 받고 있는 반면, 친환경적이고, 절연특성이 우수한 고체의 의존도는 점차 높아지고 있다. 고체 절연물은 흔히 고분자 절연물로서 대변이 되는데 그 대표적인 예로서는 EPOXY, 실리콘 등이 있으며, 이들은 대다수의 전력기기의 절연물로서 사용이 되고 있다. 고체절연은 스페이서, 부싱, 조작용 등 다양도로 활용되고 있다. 특히, 절력기기 내부 구조상 전계가 집중되는 전계취약부에 사용되고 있으며, 이것과 관련하여 다양한 기압에서 전극형태에(봉-평판, 구-구, 침-평판등)따른 절연체의 두께에 대한 절연과파에 관한 연구는 최근까지 매우 다양하고 자세하게 연구되어왔다[1]. 그러나 절연체의 표면을 연하여 진행되는 절연과파의 과정은 연구의 범위와 내용이 미흡한 실정이다[2][3]. 일반적으로 두께방향이 아닌 표면을 연하는 방향으로 절연과파가 일어날 경우 낮은 전압에서 절연과파가 일어난다. 때문에 절연설계에 있어서 체적에 대한 절연설계와 더불어 표면에 진행되는 절연설계가 복합적으로 이뤄져야한다. 본 논문에서는 진공에서 고체절연물의 연면거리에 따라 발생하는 연면방전 전압을 측정하여 절연설계에 있어서 기초적인 자료로 활용되도록 한다.

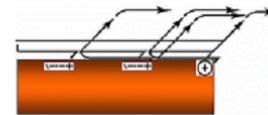
2. 본 론

2.1 연면방전 메카니즘

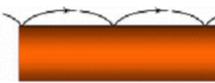
연면 방전(surface discharge)이라고 하는 것은 이종의 유전체가 서로 상접하고 있는 경우 그 경계면을 따라 생기는 방전현상을 말한다. 이와 같은 현상으로써는 기체 중에서의 고체유전체 표면과 액체 중에서의 고체유전체 표면, 기체유전체와 액체 유전체와의 경계면에서의 방전으로 분류할 수 있다. 이 중에서 기체 유전체 중에서의 고체유전체표면의 방전현상이 실용상 상당히 중요하게 여겨지고 있으며, 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 고체유전체 표면에 생기는 연면 방전은 또 연면 flashover와 tracking으로 구별한다. 연면 flashover는 유전체 표면에서의 파괴나 재료의 물성에 대해 변함없이 생기는 방전현상으로 예자 표면에서 flashover현상 등이 이것에 해당되면 연면 트래킹은 고



(a) 이차 전자 방출 에벌런치



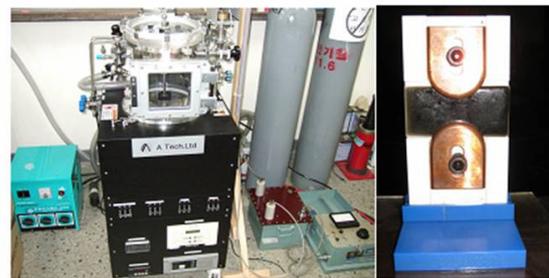
(b) 절연체 내의 전자 캐스케이드



(c) 유전체 표면이 전자 충돌, 에벌런치 없음

<그림 1> 연면방전 메카니즘

2.1.1 실험구성



<그림 2> 실험장치

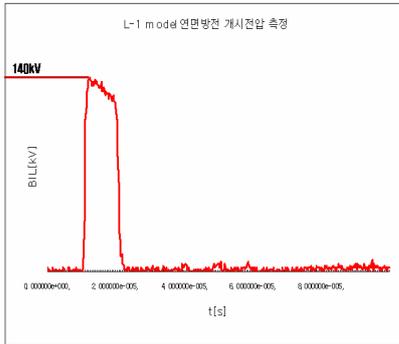
그림 2는 실험장치 구성과 전극, 그리고 시편의 모습을 보여주고 있다. 진공 챔버는 10⁻⁶[torr]까지 진공환경을 만들 수 있는 터보 펌프가 있으며 본 실험에서는 10⁻³[torr]에서 실험을 진행하였다. 일반적인 절연설계에 있어서 설치되는 절연물들은 평등전계방식을 채택함으로써 전극의 모형은 준평등 전계를 구현 할 수 있도록 하였다. 시편은 예폭시 대하여 실험을 진행하였다. 표 1 에는 실험에 사용한 예폭시의 물성표이다.

<표 1> property of epoxy

performance contents	data
working life(min)	3~5
hardness (full cure, 1hr.)	70~80
compressive strength(p.s.i)	10~14,000
density (gm/cm ³ , lb/gal)	1.9, 15.8
non-voltage content(%)	100
electrical resistance (megohms)	30,000
dielectric strength (volts/mil)	300
upper temperature limit(°F)	300

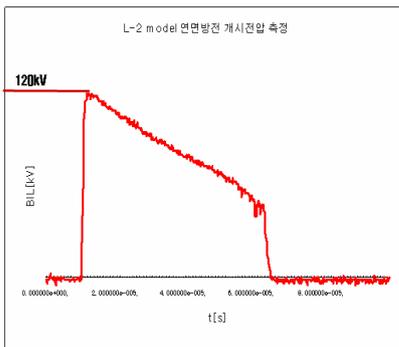
2.2 결과 및 고찰

L-1모델의 연면방전 개시전압과 연면방전이 발생하였을 때 나타나는 제단파의 형태를 그림 3에 나타내었다. L-1모델의 경우 140kV부터 연면방전이 발생하였다.



<그림 3> Surface flashover voltage and wave form of L-1 model

그림 4는 L-2모델에서 측정한 연면방전 개시전압 및 파형이다. L-1과 비교 하였을 때 개시전압이 L-1보다 낮은 전압에서 측정되었다. 측정된 연면방전 개시전압은 120 kV이며 L-1모델에 비하여 20 kV 낮은 전압이 측정되었다. 이는 L-2모델에서도 세라믹 표면의 형성된 최대전계의 면방향 성분이 L-1모델에 비하여 증가된 것을 알 수 있는데, 결국 갭거리가 감소함으로써 연면거리가 감소하여 전계와 면방향 성분은 증가하고 연면방전개시전압은 낮은 것으로 보여 진다.

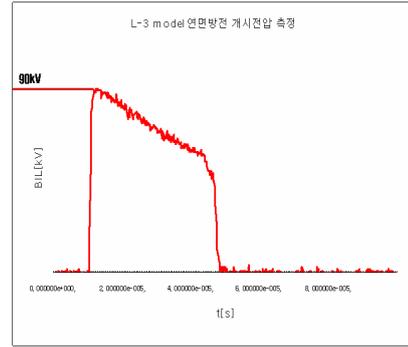


<그림 4> Surface flashover voltage and wave form of L-2 model

그림 5는 L-3모델에서 측정한 연면방전 개시전압 및 파형이다. L-1과 비교하였을 때 월드간 갭거리가 감소하여 고전압 인가부와의 거리가 가까워짐으로써 연면거리가 감소했기 때문에 전계와 면방향 성분이 증가하여 연면방전 개시전압 또한 L-1, L-2 보다 낮은 전압에서 측정되었다. 측정된 연면방전 개시전압은 90 kV이다.

표 2에서는 각 월드간 갭거리에 따라 측정된 연면방전 개시전압을 종합하여 표로 나타내었다. 최대전계의 연면성분이 클수록 연면방전 개시전압이 저하되고 있다. 이러한 관계는 연면방전이 고체 절연체 표면의 특성과 절연체 표면에 연하여 인가되고 있

는 전계에 의하여 개시된다는 사실에 의해 이해 할 수 있다.



<그림 5> Surface flashover voltage and wave form of L-3 model

<표 2> surface flashover voltage of gap distance

측정시편	L-1	L-2	L-3
연면거리[mm]	42	32	22
연면방전 개시전압[kV]	140	120	90

3. 결 론

본 논문에서는 진공에서 절연체의 연면거리에 따라 파괴전압이 어떠한 양상을 보이는지 알아보기 위하여 시편을 제작하여 각각의 절연물에 따라 갭거리를 조절하여 연면방전을 측정하였다. 연면방전의 경우 시편의 제질보다는 계면상태에 따른 영향이 크다는 사실을 확인 할 수 있다. 연면방전을 저감 하기 위해서는 절연물의 표면처리 기술이 매우 중요하다. 충전기기의 절연에 있어 가장 넓게 사용되는 에폭시의 경우 표면의 연구가 필요 할 것으로 사료되어지며 추후 유한요소해석과 병행하여 절연설계의 기초자료로써 활용되고자 한다.

his work is the outcome of a Manpower Development Program for Energy & Resources supported by the Ministry of Knowledge and Economy (MKE)

[참 고 문 헌]

[1] H. Kirkici, "Surface flashover characteristics of diamond-like carbon thin films in vacuum," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.4, pp:71~78, 1997
 [2] H. Kirkici, "Optical emission characteristics of polycrystalline diamond during surface flashover in vacuum," Vol.4, pp:822~826, 1997
 [3] Joe Y. Zhou and Steven Boggs, "Dielectric properties of Three Component Mixtures of nonlinear, Resistive, and Non-conducting Grains", 2003 Annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena
 [4] Masahiro Kozako, Tatsuki Okamoto and Toshikatsu Tanaka, "Surface change of polyamide nanocomposite caused by partial discharges", 2003 annual repory conference on electrical insulation and dielectric phenomena
 [5] H. Kirkici, "Optical emission characteristics of polycrystalline diamond during surface flashover in vacuum," Vol.4, pp:822~826, 1997
 [6] E. Hippauf, "Influence of water on the flashover strength of insulators," Z. Phys., vol. 82, p. 803, 1933.
 [7] J. Krile, A. Neuber, J. Dickens, and H. Krompholz, "dc flashover of a dielectric surface in atmospheric conditions," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 32, no. 5, pp. 1828 - 34, Oct. 2004.
 [8] A. P. Napartovich, "EEDF: Program for the Computation of the Electron Energy Distribution Function," State Sci. Center Russian Fed. Troitsk Inst. Innovation Fusion Res., Troitsk, Russia, 1993.