

空氣中에서 棒對棒 電極間的 障壁效果

The Effect of Barrier between Rod to Rod Electrodes in Air

이 기 택*, 강 형 부**

Ki-Teck Lee, Hyung-Boo Kang

요 지

본 논문에서는 대기상태에서 불평등 전계를 형성하는 봉대봉 전극사이에 절연판 장벽을 삽입하였을 때 절연특성이 개선되는 장벽효과를 실험적으로 연구하였다. 본 실험에서 전극사이에 각각 절연 장벽을 삽입하였을 때와 삽입하지 않았을 때의 섬락전압을 측정하고, 또 여러 종류의 장벽 재료에 대해 장벽의 높이와 두께를 변화 시켰을 때의 섬락전압을 측정함으로써 장벽효과를 연구 검토하였다.

실험결과, 절연체 장벽을 각각 삽입하였을 때와 삽입하지 않았을 때의 섬락전압의 비는 1.3~2.0 정도임을 확인하였고, 또한 장벽의 높이가 전극간 거리와 같아질 때까지는 섬락전압이 상승하였으나 그 이상일 때에는 변화하지 않음을 알수 있었다. 또 장벽이 두꺼울수록, 장벽 재료의 유전율이 작아질수록 섬락전압이 상승하였다.

Abstract

In this paper we studied experimentally the barrier effect by which the insulating characteristics is improved when the insulating barrier is interposed between rod to rod electrodes which forms the non-uniform electric field in atmospheric condition.

In this experiment, the measurements of flashover voltage between two rod electrodes were carried out when insulating barrier was interposed or not, respectively. And also, the barrier effect was discussed by measuring the flashover voltage when the height and thickness of barriers were varied for various types of barrier materials.

The experimental results showed that the ratio of flashover voltages was confirmed to 1.3~2.0 when the insulating barrier was interposed or not, respectively. And it was also shown that the flashover voltage was more increased until the height of barrier was equal to the distance between electrodes, but it did not vary when the height was larger than the distance. And flashover voltage was more increased when the barrier was thicker and the dielectric constant of barrier materials was smaller.

*: 한국전기연구소 개발시험실

** : 한양대학교 공과대학 전기공학과

接受日字: 1992年 11月 10日

1. 서 론

시대에 따라 새로운 절연재료가 개발되고

그것을 바탕으로하여 새로운 전기기기의 설계법이 고안되어 기기의 품질을 향상시키고, 수명을 연장하며, 콤팩트한 설계로 효율을 증대시키는 등 새로운 절연재료의 개발이 전기공학 발전에 기여하는 바가 매우 크다.

한편, 새로운 절연재료의 개발도 중요하지만 이미 개발된 재료를 합리적으로 사용하여 보다 향상된 절연효과를 얻을 수 있는 방법에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다.

이와같은 연구는 복합 절연물을 적절히 사용함으로써 실제적인 면에서 보다 우수한 절연특성을 얻기 위한 것이며, 이의 일환으로 최근 일본 전기학회 방전연구회를 중심으로 절연판을 이용한 장벽효과에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾

장벽효과(barrier effect)란 기중 전극간에 형성되는 불평등전계중에 절연판(barrier: 이하 장벽이라고함)을 삽입하였을때 장벽이 없는 경우와 비교하여 절연특성이 상승되는 것을 말한다.

장벽효과는 종이와 같은 얇은 장벽을 사용하였을때 관통 파괴전압의 상승으로 절연상승효과를 논하는 경우와 관통파괴되기 어려운 두꺼운 장벽을 사용하였을때 장벽 연면의 flashover voltage(이하 섬락전압이라 함)의 상승으로 절연상승 효과를 논하는 경우의 두가지로 구분된다.

전자는 기초절연물이 액체 및 고체일때 주로 적용되고 후자는 기초절연물이 기체일 때 적용된다.

본 연구에서는 관통되기 어려운 장벽을 사용하여 공기중의 봉대봉 전극에서의 임펄스 전압에 대한 장벽효과를 장벽의 높이, 두께 및 종류를 파라미터로 하여 연구 고찰하였다. 그 결과 장벽의 높이 및 두께가 증대되면 장벽효과가 크게 되며 종류에 따라 장벽효과가 달라진다는 사실을 알 수 있었으므로 이에 대하여 보고하고자 한다.

2. 실험

본 실험에는 임펄스전압을 사용하였으며,

장벽재료의 종류, 크기, 두께 및 장벽의 위치에 따른 절연상승효과에 대하여 조사하였다.

2-1. 시 료

장벽시료로는 현재 국내에서 흔히 사용되고 있는 두께가 1~10mm정도의 합성수지를 사용하였으며 그 종류는 다음과 같다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾

재료의 종류	비 중	체적 고유저항	유전 율	제작사 및 고유번호
페놀수지(베 크라이 트)	1.25 ~ 1.3	10^{12}	4.8	한국 절연 KL-103
에폭시 수 지	1.1 ~ 1.4	10^{12} ~ 10^{13}	3.5 ~ 5.0	영 화학
실리콘 수지	1.265	10^{11} ~ 10^{12}	4.0 ~ 5.0	성원전 기공업 (주)
폴리에 스틸 수지 (FRP)	1.3 ~ 1.5	10^{13} ~ 10^{14}	4.5 ~ 5.0	동양산 업 FRP 표준 일반
폴리에 스틸 수지 (BMC)	1.8 ~ 2.2	-	-	럭키 BMC 일반용
프레스 보드	-	-	-	MITSUBISHI PAPER

2-2. 실험장치

실험장치는 임펄스발생기와 봉대봉 전극 및 과형관측 장치로 구성되어 있으며 그림 2.1은 실험장치의 등가회로를 나타낸 것이다.

전극과 장벽에 대한 실험장치의 제원에 관하여는 다음과 같다. 즉 전극은 한번의 길이가 12.5mm의 정사각형 단면을 가진 각봉이며, 또 그림 2.2에 있는 바와 같이 전극간격을 조정할 수 있는 간격 스케일장벽의 높이를 조정할 수 있는 장벽높이 스케일 및

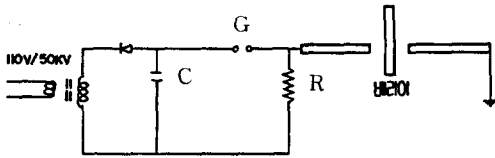


그림 2.1 실험장치의 등가회로
Fig. 2.1 Equivalent circuit of test apparatus

장벽의 위치를 조정할 수 있는 장벽 위치 스케일이 설치 되어 있다.

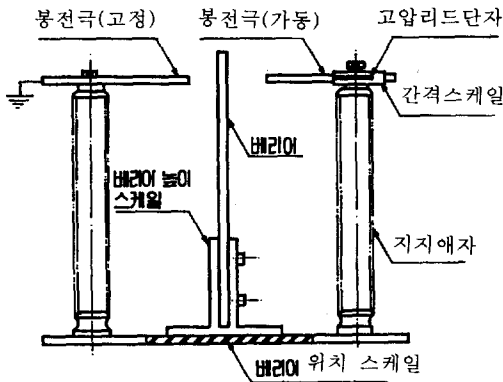


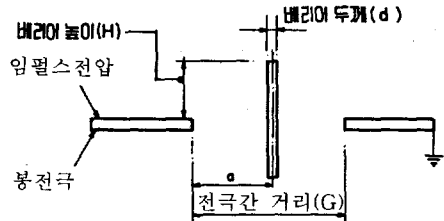
그림 2.2 실험장치도
Fig. 2.2 Schematic diagram of experimental set up

2-3. 실험방법

장벽은 그림 2.2와 같이 장벽면이 방전극의 단면에 대하여 평행이 되도록 삽입하고 섬락이 상부에서 발생하도록 장벽의 옆 및 아래쪽 방향의 길이를 길게 한다.

장벽으로는 두께가 1~10mm인 절연체 판을 사용하고 전극간 거리 G는 40, 60, 80, 100mm로 하였다. 장벽의 위치는 그림 2.3에서 보는바와 같이 $a = 0 \sim G$ 범위내에서 조정하였고, 그림 3.2에서 그림 3.13까지의 실험은 장벽의 위치를 전극의 중앙($a = G/2$)에 고정시킨 상태에서 실험하였으며, 또 장벽의 높이 H는 0~200mm의 범위로 하였다. 인가전압으로는 주로 1.2 x 50 μ s의 부 임펄스 전압을 사용하였으며 약 30회 인가하여 50% 섬락전압을 승강법으로 결정하였다.⁹¹¹⁾

장벽에 대해서는 일정한 시간 간격으로 시험하였고, 그것이 절연 파괴 되지 않는 한 계속 사용하였으며 표면은 특별히 손질하지 않았다.



폐놀수지 $V_0 = 89.3 \text{ KV}$
 $d = 10 \text{ mm}$
 $H = 50 \text{ mm}$
 $G = 100 \text{ mm}$

그림 2.3 전극과 장벽의 구성
Fig. 2.3 Composition of electrodes and barrier

3. 실험결과 및 검토

3-1. 장벽의 위치에 대한 섬락전압과 장벽효과

전극간에 정. 부 임펄스 전압을 각각 인가할때 장벽의 위치에 따라 절연특성이 어떻게 변화하는가를 알아보기 위해서 두께 d가 10mm이고, 높이 H를 50mm로한 폐놀수지를 전극간 거리 G가 100mm인 전극사이에 장벽으로 놓고 이 장벽과 인가전극 사이의 거리 a를 변화 시키면서 각 위치에서의 50% 섬락전압을 측정하여 그림 3.1에 나타내었다. 단, V_0 전압은 장벽이 없을 경우의 50% 섬락전압이며 V_{50} 은 50% 섬락전압을 나타낸다.

$a = 0$ 인 상태는 장벽 표면이 인가전극에 접촉하고 있는 상태로 사실상 $a = d/2$ 이다.

그림 3.1에서 보는 바와 같이 50% 섬락전압 V_{50} 은 장벽이 없는 경우의 값($V_0 = 89.3 \text{ KV}$)에 비해 상당히 크고, 또 장벽의 위치에 따라 V_{50} 이 상당히 달라짐을 알 수 있었다. 부극성의 경우 V_{50} 은 $a = 0$ 에서 최소치가 되고 a를 증가시키면 거의 직선적으로 증대 하였으며 정극성의 경우는 부극성의 경우와 반대의 특성을 나타내었다. 또 장벽

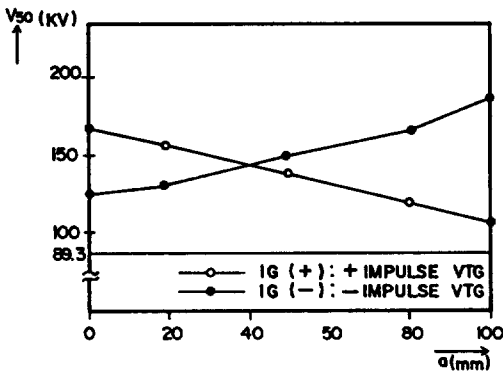


그림 3.1 장벽의 위치에 따른 섬락전압의 변화

Fig. 3.1 Flashover voltage vs. position of barrier

이 전극간 거리의 중간부근에 있을 때에는 부극성과 정극성의 V50은 거의 같은 값을 나타내었다.

위의 실험결과는 장벽이 양극에 있을 때 장벽효과가 가장 크게 됨을 나타내고 있다. 이 실험은 전극간 거리 G와 장벽의 높이 H와의 비 $H/G = 0.5$ 의 경우이며 이 경우는 3-2에서 언급하는 바와 같이 양극에서 정 스트리머에 의한 기중방전이 시작되어 바로 장벽을 뛰어 넘어 음극에 도달하는 순수한 기중방전이 일어난다. 따라서 이 경우 연면 방전 전압이 기중방전 전압보다 높으며, 장벽이 양극에 가까워 질수록 기중방전이 억제 되므로 그림 3.1과 같은 결과가 나타나는 것으로 생각된다.

3-2. 장벽 높이의 변화에 대한 섬락전압과 장벽효과

장벽으로서 페놀수지를 사용하고 전극간 거리 $G = 40\text{mm}$ 에서 장벽두께 d 를 3.5, 6.0, 10mm로한 경우에 대해 각각 실험에서 얻어진 H/G 와 V/V_0 의 관계를 그림 3.2에 나타내었다. 단, V_0 는 장벽이 없는 경우의 50% 섬락전압이며 $G = 40, 60, 100\text{mm}$ 경우에 대해서 각각 51, 65, 81, 96KV 이다.

그림 3.2에서 보는바와 같이 $H/G < 1$ 의 범위에서는 H/G 가 증가됨에 따라 V/V_0 는 거의 직선적으로 상승하고 H/G 가 1이 되는

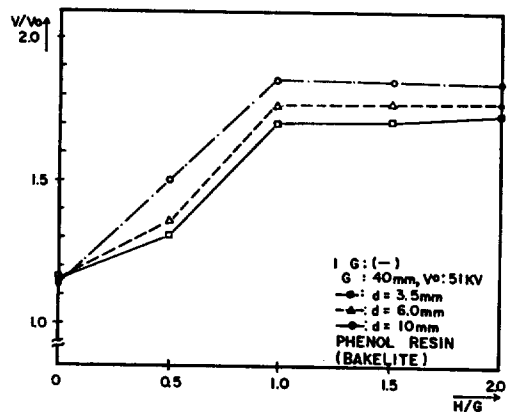


그림 3.2 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(페놀수지)

Fig. 3.2 Flashover voltage vs. height of barrier(Phenol Resin)

부근에서 포화하기 시작하며, H/G 가 더욱 증가되어도 V/V_0 값은 거의 일정하게 되는데 이러한 결과는 Toyofuku⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾ 및 Yoshida⁽⁶⁾ 등의 실험결과와도 일치한다.

또한 장벽의 두께에 따라서 V/V_0 의 값이 조금씩 차이가 있는 것을 알 수 있는데 두께 d 가 큰 만큼 V/V_0 의 값이 조금 높아짐을 알 수 있다.

그림 3.3은 장벽으로서 페놀수지를 사용하고 전극간 거리가 $G = 60\text{mm}$ 일 때의 V/V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 장벽 두께가 6mm, 10mm인 경우는 $H/G = 1$ 부근에서 포화하기 시작하는 결과는 $G = 40\text{mm}$ 의 경우와 같은데, 두께가 3.5mm일 때에는 $H/G = 0.7$ 부근에서 포화하기 시작하고 V/V_0 의 포화값도 $G = 40\text{mm}$ 의 경우보다 감소하였다.

그림 3.4는 장벽으로서 페놀수지를 사용하고 전극간 거리가 $G = 80\text{mm}$ 일 때의 V/V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 H/G 가 0.8 부근에서 V/V_0 는 포화하기 시작하고, V/V_0 가 전극간 거리 $G = 40\text{mm}, 60\text{mm}$ 의 경우보다 더욱 감소하였다.

그림 3.5는 장벽으로서 페놀수지를 사용하고 전극간 거리가 $G = 100\text{mm}$ 일 때의 V/V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에

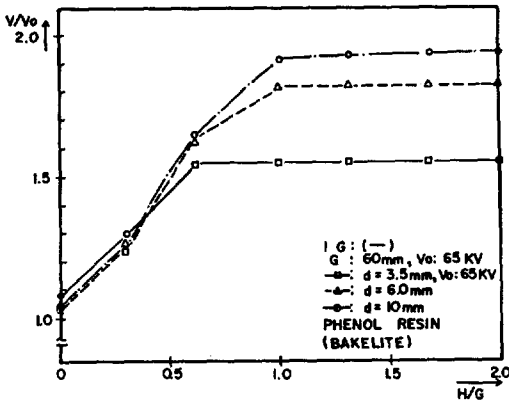


그림 3.3 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(페놀수지)

Fig. 3.3 Flashover voltage vs. height of barrier(Phenol Resin)

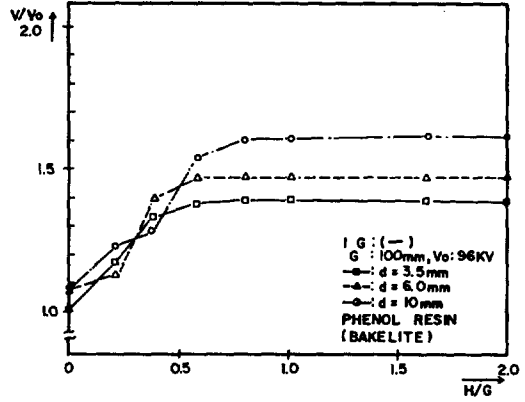


그림 3.5 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(페놀수지)

Fig. 3.5 Flashover voltage vs. height of barrier(Phenol Resin)

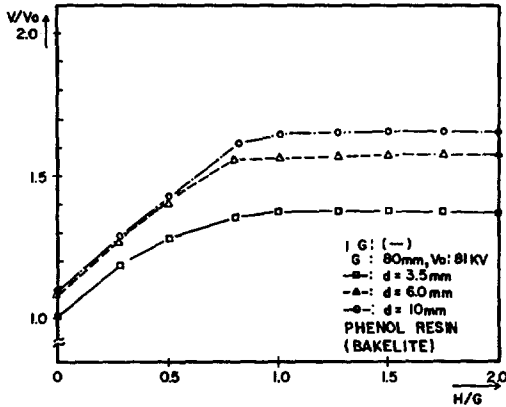


그림 3.4 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(페놀수지)

Fig. 3.4 Flashover voltage vs. height of barrier(Phenol Resin)

서 보는바와 같이 H/G가 0.6부근에서 V/Vo는 포화하기 시작하고, V/Vo가 전극간 거리 G = 40mm, 60mm, 80mm의 경우보다 더욱 감소하였다.

V/Vo의 포화점에 대해서 그림 3.2, 3.3, 3.4, 3.5를 살펴보면 G = 40mm와 60mm에서는 H/G가 1 부근에서 포화되고, G = 80mm에서는 H/G가 0.8부근에서 포화되며, G = 100mm에서는 H/G가 0.6부근에서 포화되어 같은 높이의 베리어에서는 전극간 거리 G가 클수록 포화점의 H/G값이 작아지며 또

한 섬락전압의 비율 V/Vo도 작아짐을 알 수 있다. 또 그림 3.2~3.5를 보면 H/G의 증가와 더불어 섬락전압이 상승하는 영역과 포화되는 영역의 두 영역으로 나뉘어짐을 알 수 있는데 이는 streak camera를 이용한 실험결과⁽¹⁾를 참고하여 다음과 같이 해석할 수 있다.

즉, H/G가 작을 경우는 이미 언급한 바와 같이 장벽을 뛰어 넘은 순수한 기중방전이 일어나며, 포화영역에 가까와지면 양극에서 시작된 기중방전이 장벽을 넘지 못하고 장벽 표면에 도달한 다음 표면에서의 연면방전으로 이어져서 섬락되는 것으로 해석할 수 있다. 포화영역에서의 방전형태는 전극에서 장벽에 대해 거의 직각으로 방전하고 장벽 표면에서는 거의 완전히 연면방전이 일어나는 모델로 해석할 수 있다.

그림 3.6은 장벽으로서 에폭시수지를 사용했을때 전극간 거리 G = 40mm에서 V/Vo와 H/G의 관계를 나타낸 것이다. 이 경우 장벽의 두께에 따라 V/Vo의 값에 약간의 차이가 있으나 페놀수지에 비해 그 변화되는 폭이 훨씬 작았으며, 포화상태의 V/Vo 값은 상대적으로 페놀수지에 비해 높은 값을 나타내었다.

그림 3.7은 장벽으로서 실리콘 수지를 사용했을때 전극간 거리 G = 40mm에서 V/

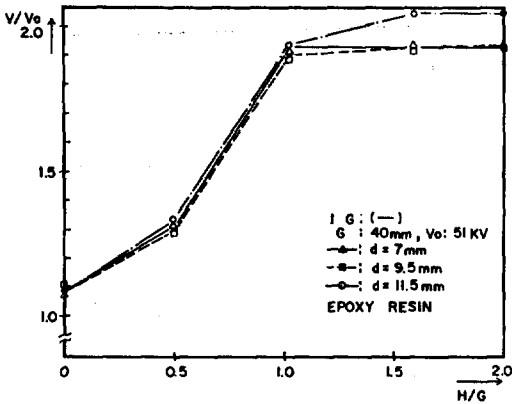


그림 3.6 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(에폭시 수지)

Fig. 3.6 Flashover voltage vs. height of barrier(Epoxy Resin)

V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다. 상당히 얇은 재료를 사용하였으므로 $H/G > 1$ 에서 장벽이 관통 파괴되어 포화점을 확인할 수 없었으나 절연상승 효과가 높은 것을 알 수 있다.

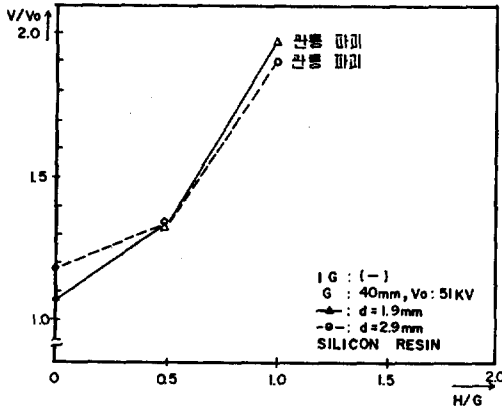


그림 3.7 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(실리콘 수지)

Fig. 3.7 Flashover voltage vs. height of barrier(Silicon Resin)

그림 3.8은 장벽으로서 폴리에스테르수지 (FRP)를 사용했을때 전극간 거리 $G = 40$ mm에서 V/V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다. 폴리에스테르수지(FRP)는 다른 재료에 비해 장벽의 두께에 따라서 V/V_0 의 값이

많은 차이를 나타내고 있다. 이 경우 장벽의 두께에 따라 V/V_0 가 포화되는 점의 H/G 값이 상당히 달라짐을 알 수 있었다.

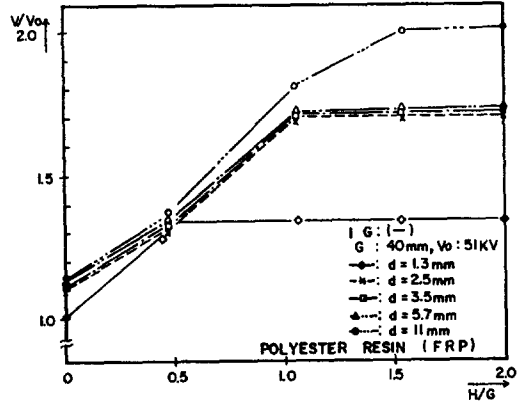


그림 3.8 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(FRP)

Fig. 3.8 Flashover voltage vs. height of barrier(FRP)

그림 3.9는 장벽으로서 폴리에스테르수지 (BMC)를 사용했을때 전극간 거리 $G = 40$ mm에서 V/V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다. 이 경우도 $H/G = 1$ 부근에서 V/V_0 값의 포화되는 특성을 나타내었다.

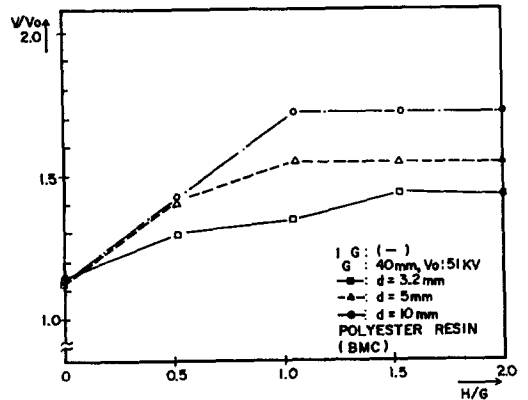


그림 3.9 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화 (BMC)

Fig. 3.9 Flashover voltage vs. height of barrier(BMC)

그림 3.10은 장벽으로서 프레스보드를 사용했을때 전극간 거리 $G = 40$ mm에서 V/V_0

V_0 와 H/G 의 관계를 나타낸 것이다.

장벽의 두께가 얇은 것은 시험도중 관통 파괴 되었으며 장벽의 두께에 따라서 V/V_0 의 값이 많은 차이를 나타내고 있다.

그림 3.6 - 3.10의 시험결과를 살펴보면 이것은 다음과 같은 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

V/V_0 는 $H/G < 1$ 의 범위에서 상승하고 대체로 H/G 가 1 부근에서 포화하기 시작하며 $H/G > 1$ 의 범위에서는 완전히 포화가 된다. 이러한 양상은 H/G 가 1 부근을 경계로하여 방전의 양상이 달라지는 것을 알 수 있는데, 앞에서 언급한 바와 같이 $H/G < 1$ 의 범위에서는 기중 방전형태가 되고, $H/G > 1$ 의 범위에서는 연면방전 형태가 된다.

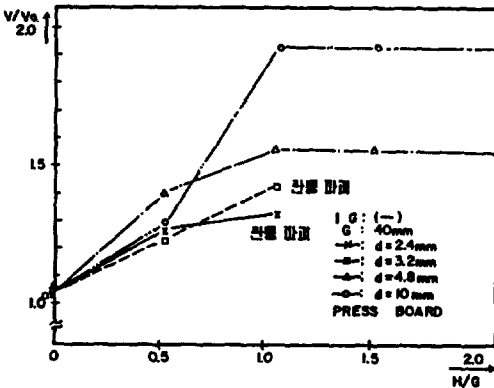


그림 3.10 장벽의 높이에 따른 섬락전압의 변화(프레스 보드)

Fig. 3.10 Flashover voltage vs. height of barrier (press board)

또 사용한 장벽시료의 두께 범위에서는 장벽두께가 두꺼울 수록 장벽효과가 크게 됨을 알 수 있었다.⁽¹⁾

3-3. 장벽 두께의 변화에 대한 섬락전압과 장벽효과

그림 3.2 - 3.10에서 각 재료마다 장벽 두께의 변화에 대해서 포화 V/V_0 의 값이 차이가 있는 것을 알 수 있었으며, 이 실험결과를 전극간 거리를 파라미터로 하여 각 시료에 대해서 그 두께와 포화 V/V_0 의 관계를 그림 3.11 및 그림 3.12에 나타내었다.

그림 3.11은 전극간의 거리 G 를 파라미터

(40, 60, 80, 100mm)로 하여 폐놀수지에 대한 포화 V/V_0 와 장벽의 두께 d 의 관계를 나타낸 것이다. 장벽의 두께 d 값이 클수록 포화 V/V_0 의 값은 상승하였고, 전극간의 거리 G 가 클수록 포화 V/V_0 값이 대체로 감소함을 알 수 있다.

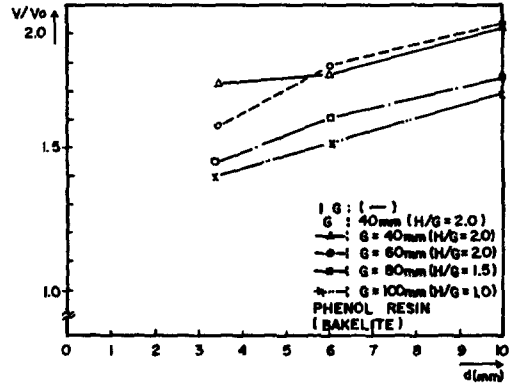


그림 3.11 장벽의 두께에 따른 섬락전압의 변화

Fig. 3.11 Flashover voltage vs. thickness of barrier

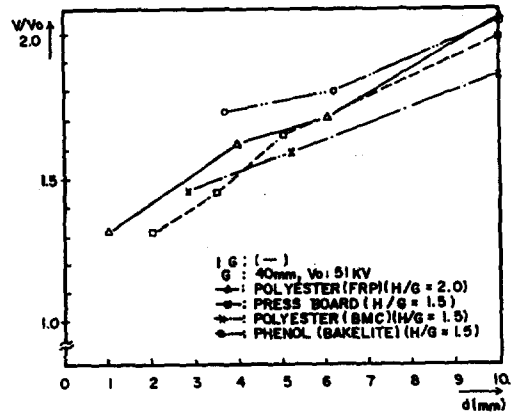


그림 3.12 장벽의 두께에 따른 섬락전압의 변화

Fig. 3.12 Flashover voltage vs. thickness of barrier

그림 3.12는 장벽의 재질을 달리 하였을 때 포화 V/V_0 와 장벽의 두께 d 의 관계를 나타낸 것이다. 모든 상태에서 장벽의 두께 d 가 클수록 포화 V/V_0 의 값이 상승함을 알 수 있다.

3-4. 장벽의 종류에 따른 섬락전압과 장벽효과

3.2 - 3.3 절에서 검토한 바와 같이 장벽 효과는 $H/G > 1$ 인 범위에서 장벽의 종류에 따라 조금씩 다르다는 것을 알 수 있다.

그림 3.13은 절연재료의 유전율 ϵ 은 페놀수지의 유전율 4.8을 기준값 1로 하고, 이에 대한 각 재료의 유전율을 상대적인 비율로 나타내었으며, 종축의 K는 전극간 거리 $G = 40\text{mm}$ 장벽 두께 $d = 3.5\text{mm}$ 를 사용하였을때 페놀수지의 포화 V/V_0 를 기준값 1로 하여 다른 재료의 상대적인 포화 V/V_0 를 나타낸 것이다.

유전율은 에폭시수지, 실리콘수지, 폴리에스테르수지를 각각 3.5 - 5.0, 4.0 - 5.0, 4.5 - 5.0으로 하여 단순 평균치로 나타낸 것인데 그림 3.13에서 보는 바와 같이 유전율이 큰 절연재료 일수록 K값은 작아지므로 결국 유전율이 작아질수록 장벽효과가 커진다는 것을 알 수 있다. 그러나 이에 대한 자세한 규명은 앞으로의 연구과제이다.

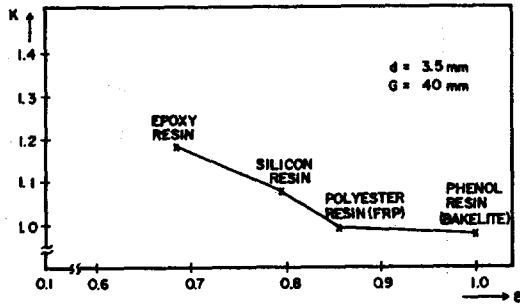


그림 3.13 장벽재료의 유전율에 따른 섬락전압의 변화

Fig. 3.13 Flashover voltage vs. dielectric constant

4. 결론

대기상태에서 불평등 전계를 형성하는 봉대봉 전극간에 절연판을 삽입함으로써 얻어지는 절연효과 상승에 대해서 임펄스 전압을 사용하여 기본적인 자료를 얻었으나, 상용주파 교류전압 등의 기타 전원에 대한 실제적인 문제와 절연판의 조건에 따라서 기

대되는 절연효과 상승의 예측에 대하여는 더욱 자세히 연구할 과제이다.^{99)(12/913)}

본문의 중요한 결과는 다음과 같다.

- 1) 공기중의 봉대봉 전극사이에 삽입하는 장벽의 위치에 관계없이 절연효과 상승이 있음을 확인하였고, 부 임펄스의 경우는 장벽이 접지전극 측으로 가까이 갈수록 섬락전압이 증가하고 정 임펄스의 경우는 이와 반대인 현상을 갖는다.
- 2) 장벽의 높이에 따른 절연효과 상승은 $H/G > 1$ 의 범위에서 증가하고 $H/G = 1$ 부근에서 포화점이 있으며 $H/G > 1$ 의 범위에서는 거의 일정하게 한다.
- 3) 장벽의 두께에 따른 절연효과 상승은 $H/G > 1$ 의 범위에서 두께가 두꺼울수록 상승하며 그 두께가 두꺼울수록 상승하며 그 두께의 효과는 전극간격 G 가 작을수록 현저하다.
- 4) 장벽의 종류에 따른 절연효과 상승은 장벽으로 사용하는 재료의 유전율이 작을수록 커지는 것을 확인하였다.
- 5) 봉대봉 전극형태로 전극간의 거리가 100 mm이내인 공기절연 상태에서 장벽에 의한 v/v_0 값은 1.3~2.0정도이다.

참고 문헌

1. 高野哲美外3人, "氣中棒ギャップにおけるバリヤ効果とその放電形態觀察" 日本電氣學會研究資料(ED-78-35)
2. 豊福正治外2人, "バリヤ効果におよぼすバリヤの厚さおよび種類の影響" 日本電氣學會研究資料(ED-82-31)
3. 豊福正治外2人, "バリヤ効果におよぼすバリヤの厚さおよび種類の影響" 日本電氣學會研究資料(ED-83-13)
4. 嶋崎俊行外2人, "大氣中負インパルス電壓印加時の沿面フラッシュオーバー過程" 日本電氣學會研究資料(ED-83-15)
5. 豊福正治外2人, "バリヤのある氣中棒-ギャップの放電特性" 日本電氣學會研究資料(ED-84-9)
6. 吉田哲熊外4人, "氣中バリヤ絶縁による耐

- 壓向上の検討”電學論 B.8.55(昭和55-1)
7. 姜衡富“電氣電子材料” 清文閣,1988. 1, pp. 436-441
 8. 金鳳洽“電氣電子材料” 文運堂, 1987. 1, pp. 41-47
 9. 田春生“放電 高電壓 工學” 東明社, 1980. 11, pp. 115-118
 10. 韓國電氣研究所“電氣材料綜合研究”,1987. 4, pp.251-255
 11. 電氣學會絶縁試験法ヘンドブック改訂委員會編“高電壓試験ヘンドブック改訂委員會編” 高電壓試験ヘンドブック”, 昭和 58. 3, pp. 312-313
 12. 電氣學會 “放電ヘンドブック”, 昭和 59. 8, pp. 186-191
 13. 電氣學會 通信教育會“高電壓 大電流 工學”, 1988, 10, pp. 51-55

著者紹介



이기택

1958년 2월 16일생. 1985년 8월 서울산업대학 졸업.1990년 2월한양대학교 산업대학원 졸업(공학). 1992년 현재 한국전기연구소 기술원.



강형부

1937년 8월 29일생. 1962년 OSAKA대학 공학부 전기공학과졸업. 1964년 OSAKA대학원 공학석사. 1969년 OSAKA대학원(공학). 1970년~ 74년 일본 NAGOYA대학 플라즈마 연구소연구원. 1974년~79년 일본 OSAKA대학 레이저 핵융합 연구소 연구원. 1979년 현재 한양대학 전기공학과 교수.