

전하중첩법을 응용한 접촉점 부근에서의 전기분포 해석

곽 영 soon 조 정 수 ◯ 금 명 진
부산대학교 전기공학과

The elucidation of Electric field distribution of contact point
by applied the Charge simulation method

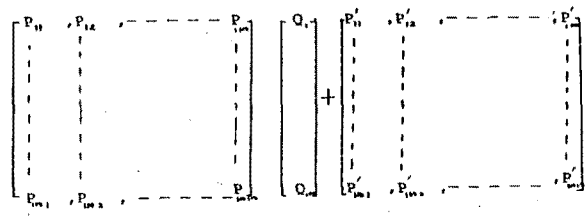
Young Soon Kwak, Jung Soo Cho, ◯ Myung Jin Kong
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

1. 서 론

고전압이 인가되는 기기의 절연설계, 방전현상등에 있어서 전기분포 해석은 중요하다. 실제 고전압이 인가 되었을 때 절연체에서 발생하는 절연파괴의 원인으로는 전기적인 원인 이외에 화학적, 고분자적등 여러가지 원인이 있지만, 본 연구에서는 전기적인 원인, 특히 전기분포의 해석에 그 관점을 가지고, 이를 위해 경계 및 장을 형성하는 전하를 분할하고 전극 내부의 가상 전하를 미지수로 하는 전하중첩법을 응용하여, 절연체 내부에 전기쌍극자가 형성 되었을 때 여기에 대한 수치해석을 행하였다. 또 이들 값과 파괴시험을 하여 구한 전기분포를 서로 비교, 고찰해보았다.

2. 본 론

전하중첩법은 전극내부에 유한개의 가상전하군을 잡아서 이 가상 전하군에 의한 $\phi = \sum U_i$ 의 등전위면이 전극 표면과 일치된다면, 각 U_i 는 Laplace의 방정식을 만족 시키므로 ϕ 가 전극 외부의 해가 된다. 즉, 전극표면 근처에 유한개의 가상점을 잡아서 이들 점의 전위가 전극 전압 V 가 되게 전하군을 결정한다면, 이들 전하군에 의한 전기분포는 실제 전극주위에 분포하는 전기분포와 다를 수 있다. 그림 1과 2와 같이 전극과 시료가 배치되어 있을 때, 외부에서 전압을 인가하면 시료의 내부에는 - 전하가 시료 표면으로 모이고 +의 전하는 시료의 아택면에 모이게 된다. 이와 같이 시료내에 전기쌍극자가 형성되었을 때 전극과 시료가 접하는 접촉점에서의 전기분포는 다음과 같다. 그림에서와 같이 전기쌍극자는 각 극의 윤곽점의 바로 아택에 형성된다고 가정할 때, 임의의 윤곽점 i 에 대한 전위는 $U_i = P_{ij} Q_j + P'_{ij} Q'_i$ 의 전위차유기되고 이 점에서의 전체 전하들의 작용에 의한 전위는 $\phi_i = \sum_{j=1}^n (P_{ij} Q_j + P'_{ij} Q'_i)$ 의 형태로 된다. 따라서 전체 전하와 각극의 윤곽점 사이에는 다음의 연립 방정식이 성립된다.



$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1)식에서 P'_{ij} 는 도체내부에 잡은 가상전하에 대한 상수이고, P_{ij} 는 시료내부에 잡은 전기쌍극자에 대한 상수이다. 그런데 여기에서 도체내의 전하가 도체 표면으로 나오게 하는데 걸리는 전위는 전기쌍극자를 일으키는 데 필요한 전위에 비해서 극히 작으므로 (1)식은 전기쌍극자에 대한 연립방정식만으로 생각할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (1')$$

(1)'식에서 두께가 $d=70, 83, 100, 116, 168, 200\mu m$ 인 LDPE 필름에 대해 적용해보았다. 표 1에 이 필름에 대한 두께와 유전율, 파괴전압값을 나타내고 있다. 실제 이들 값들에 대해서 Jordan-Gauss의 소거법을 이용한 프로그램을 개발하여 Q_1, \dots, Q_n 의 값들을 구하고, 각 윤곽점에 대한 전기분포는 $E = -\nabla V$ 로부터 $E(x) = \sum_{i=1}^n E_{xi}$, $E(y) = \sum_{i=1}^n E_{yi}$

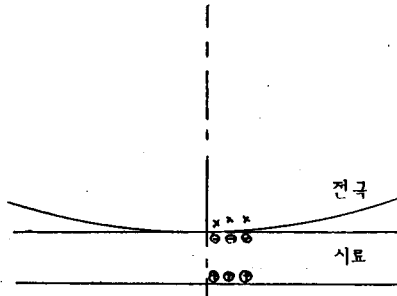


그림 1. 전기장곡자 생성도

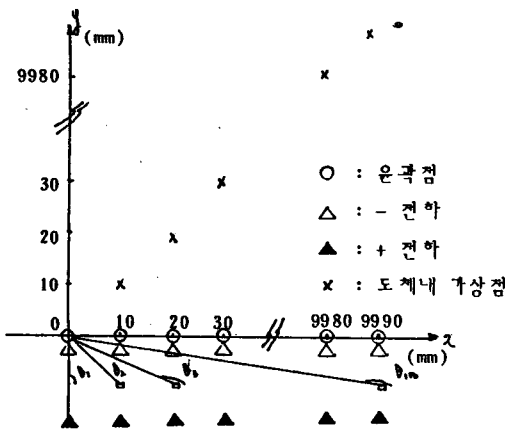


그림 2. 가상전하의 좌표도

두께	유전율	파괴전압
70	2.07	43.7
83	2.06	44.0
100	2.12	47.7
116	2.12	49.5
168	2.23	64.5
200	2.24	75.5

(단 두께는 mm, 파괴전압은 KV)

표 1. 두께별 실험측정값

$$E = \sum_{i=1}^{100} E_{ij}$$

을 구하였다. 각 두께별로 전기값을 구해본 후 이들 값과 각 음극점에서의 전기분포값을 살펴 보았다. 전기분포는 음극점의 첫부분에서 큰 감소율을 나타내었다.

두께별로 살펴보면 두께가 두꺼운 시료 일수록 얇은 시료보다 전기값은 증감율이 덜함을 나타내었다. 그림 3 에 이를 나타내고 있다. 또 수식에 의해 구한 수치전기값과 실험식에 의해 구한 전기값들의 평균치와 실험식에서 구한 전기값들을 서로 비교하고 있다.

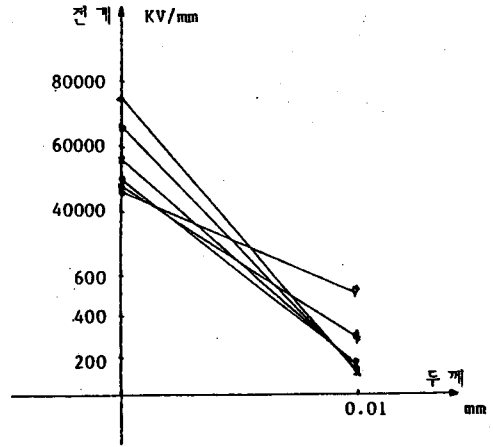


그림 3. 각 음극점에 대한 두께별 전기분포도

표 2에서 보듯이 전기값들은 양쪽 모두의 경우에 있어서 감소하고 있다. 그림 4에는 두께 별로 이들값들을 나타내고 있다. 이때 생긴 오차들은 수식에서는 유전율을 매개 변수로 하나, 실험식에서는 이를 고려치 않았고, 또 실제 파괴치는 전기적, 화학적, 고분자적 원인을 포함한 값이나 수식에서는 이를 고려치 않았기 때문이라 추론된다.

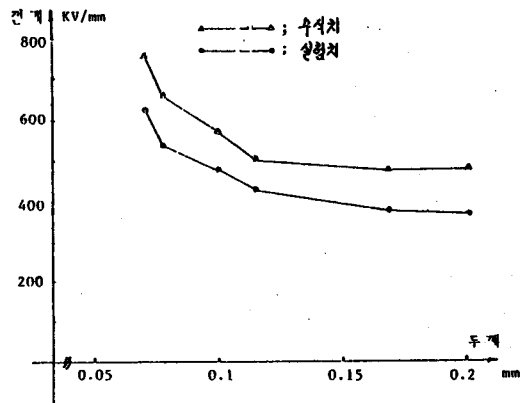


그림 4 두께별 실험치와 수식치의 비교도

두께	실험치	수식치	오차
70	624.3	758.1	133.8
83	530.1	657.0	126.9
100	477.0	571.4	94.4
116	426.7	508.9	82.2
168	383.9	482.2	98.3
200	377.5	481.3	103.8

(단 두께는 mm, 전기값은 KV/mm)

표 2. 두께별 실험치와 수식치의 비교표

3. 결 론

본 연구에서는 파괴가 일어난 절연체에 대해 그 파괴 원인을 전기적인 원인에 관점을 두고 전하중첩법을 응용한 프로그램을 개발하여 전극표면에 대한 전기분포를 구하여서 실제 실험치와 비교하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전극과 시료와의 접촉점에서의 전기분포는 접촉점 원점 부근에서 전기값의 증감이 크고 멀어질수록 전기값의 증감이 작았다.
 - 2) 두께가 두꺼운 시료일수록 원점 부근에서의 전기값의 증감이 작았다.
 - 3) 수치에 의해 구한 전기값과 실험식에 의해 구한 전기값을 서로 비교해 보면 양쪽 모두에서 두께가 두꺼운 시료일수록 전기값이 감소하였다. 이때 발생하는 오차는 수치식에서 공간전하의 영향 및 전극주위에 분포하는 전기분포를 고려하지 않았고 전기적인 원인 이외 화학적, 고분자적 수식을 고려하지 않았기 때문에 발생하는 것으로 추론된다.
- 추후, 공간전하에 의한 영향 및 화학적, 고분자적인 수식을 도입시킨다면 보다 정확한 수치해석의 접근이 되리라 사료된다.

4. 참고문헌

- 1) J.H. Wesley and F.W. Paker : The Solution of Electric field Problems using a digital Computer (1956)
- 2) N.Glatz and H. Riege : Automatic Calculation of Electric fields, Int. Sym. on High Voltage Technology. Munchen, pp. 17-22 (1972-1973)
- 3) Stephen Gasiorowicz : Quantum Physics., John Wildy and Sons, 1974.
- 4) H. Stenibigler : Diss. Univ, Munchen (1972- 6)
- 5) T. Takuma, T. Kawamoto and H. Fujinami : Effect of field behavior near singular points in composite medium arrangements, IEEE Trans (1982- 6).