

# 고체 절연체 내부 공극 또는 금속 이물질 존재시의 GIS 내부의 전계 해석

論 文

49C-6-5

## Analysis of Electric Fields Inside GIS with a Small Void in Spacer or with a Metal Impurity

閔錫源\* · 金容俊\*\* · 金應植\*\*\*  
(Suk-Won Min · Yong-Jun Kim · Eung-Sik Kim)

**Abstract** - In this paper, we developed 3 dimensional Surface Charge Method which could calculate electric fields inside GIS with a small void in solid insulator or with a metal impurity. We find a metal impurity makes much more non-uniform electric field distribution inside GIS than a small void. We also find electric field is much more increased when a metal impurity is close to solid insulator surface at high voltage conductor.

**Key Words** : Surface Charge Method, Small Void, Metal Impurity, Non-uniform Electric Field

### 1. 서 론

우리나라는 전력수요 증가와 인구의 도시 집중화현상으로 인해 신뢰도 높은 대용량 장거리 전력 수송설비를 점점 확충해야 하는 실정으로 현재 765 kV 송전선로가 건설중에 있다[1]-[4]. 이에 따라 전력설비는 대형화, 중량화 및 초고압화 하고 있으나 일반대중은 이러한 전력설비에 대해 여 큰 혐오감을 갖고 자기주변에 이러한 설비가 건설되는 것을 반대하는 님비 현상이 계속 증가되고 있는 추세이다. 또한 우리나라와 같이 국토면적이 협소한 나라에서는 발전소 및 송변전설비의 입지난이 더욱 심화되고 있어 이의 해결 방안으로 GIS 설비가 대도시로부터 지방 중소도시로 확산되어 건설, 운전중에 있다.

이런 초고압용 GIS설비는 모선, 차단기, 단로기, 접지 개폐기, 변류기 등이 밀폐된 좁은 공간에 설치되어 있어 사고를 사전에 외부에서 감지하기 어렵고 SF<sub>6</sub> 절연가스는 균등전계 하에서 절연효과가 높으나 불균등 전계하에서는 절연효과가 급격히 감소하는 전계 의존성을 갖고 있다.

따라서 본 논문에서는 GIS 내부 고체 절연체(스페이서)에 공극이 있는 경우와 고체 절연체 표면에 금속 이물질(부유도체)이 있는 경우가 GIS 내부 전계 분포에 영향을 미칠 것으로 예상되어 일반 3차원 표면 전하법을 이용하여 정상적인 경우와 비교하여 전계 불균일도를 검토하였다.

한편 GIS는 도체, 가스 절연체, 에폭시의 고체 절연체가 복합적으로 구성되어 있는 다매질장 매체이고 공극과 금속

이물질이 존재하면 대부분 대칭성이 전혀 없는 일반 3차원장이기 때문에 전하 중첩법보다는 표면 전하법이 유전체 경계면에서 경계 조건식을 적용하기 쉬워 이를 사용하였다.

표면 전하법에도 여러 기법이 있고 대부분 수치적분을 이용하여 전위와 전계를 계산하고 있지만 여기서는 일정전하 밀도를 갖는 삼각형 요소의 전위 및 전계가 특이해 문제없이 해석적으로 주어지는 장점이 있어 이것을 사용한 삼각형 요소 표면 전하법을 이용하였다[5]-[7].

GIS의 절연체 내부에 공극이 생기는 경우에는 유전을 차이에 의해 공극에 전계가 집중하게 되기 때문에 공극내부의 전계치가 일정한 이상이 되면 부분 방전 발생의 원인이 될 수 있으므로 공극에서 전계의 세기를 알아보기 위해 공극이 도체에 붙어 있는 경우와 절연체 내부에 있는 경우로 나누어 공극 내부에서의 전계 분포를 계산하여 보았다.

또한 GIS 내부에 금속 이물질이 유입되는 경우, 이물질 주위가 불균등 전계 분포로 되어 전계치가 일정한 이상이 되면 가스 절연체의 절연이 파괴될 수 있으므로 이물질 위치 변화에 따른 전계 분포 변화를 알아보기 위해 이물질이 고체 절연체에 붙어 있는 경우와 가스 절연체에 있는 경우로 나누어 금속 이물질 주변의 전계 분포를 검토하였다.

### 2. 계산 원리

#### 2.1 단일 매질장

단일 매질장이란 도체(전극)와 한 종류의 유전체로 구성된 경우를 의미하는 것으로 그림 1과 같이 직육면체 도체에 전압 V가 인가되었을 때, 이로 인해 단일 매질의 임의의 계산점 i에 나타나는 전위 및 전계를 구하는 경우이다. 이 때 i점의 전위는 그림 1과 같이 전하들이 분포된 전극 표면을 여러 개의 요소들로 나누어 각각의 요소 전하가 i점에 미치는 영향을 중첩하여 구한다. 즉 분할 표면전하 j에 의한 임

\* 正 會 員 : 順天鄉大 情報技術工學部 副教授 · 工博

\*\* 準 會 員 : 順天鄉大 情報技術工學部 碩士課程

\*\*\* 正 會 員 : 湖西大 第 3工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 1999年 12月 9日

最終完了 : 2000年 4月 15日

의 계산점  $i$ 점의 전위  $\phi_{ij}$  는 식 (1)과 같이 주어지기 때문에, 전체요소에 의한  $i$  점에서의 전위는 표면전하법에서는 이들 각 요소가  $i$  점에 미치는 전위를 중첩하여 더하는 것으로 식(2)로 된다.

$$\phi_{ij} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_s \frac{\sigma_j \cdot dS_j}{l} \quad (1)$$

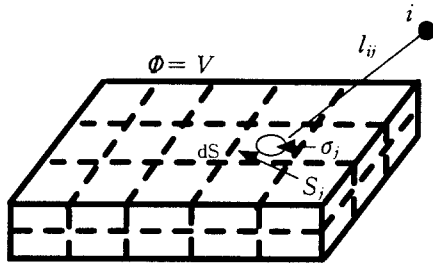


그림 1 표면전하법의 전극 표면 모의전하  
Fig. 1 Simulation charge on a electrode surface in surface charge method

$$\phi_i = \sum_{j=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma_j \cdot S_j}{l_{ij}} \quad (2)$$

식(2)에서 전하점과 전위를 계산하고자 하는 점이 정해지면 전하 밀도  $\sigma_j$  를 제외한 나머지는 기지수로 된다. 따라서 표면 전하법에서는 미지 전하 밀도를 실제에 가깝도록 구하는 것이 가장 중요한 것으로 방법은 다음과 같다.

그림 1과 같은 장에서 우리가 알고 있는 것은 전극, 즉 도체의 형상과 전위가  $V$ 라는 것이다. 즉 표면 전하법은 전극 표면을 삼각형 요소, 사각형 요소, 곡면체 등의 여러 가지 요소로 나누어 전극의 실제 형상을 그대로 모의하여 전극 표면의 전위가  $V$ 가 되도록 미지 전하 밀도를 구한 후, 임의의 위치의 전위와 전계를 이로부터 구하는 것이다. 이것은 우리가 다루고 있는 방정식이 라플라스 또는 포아송 방정식으로 이것들은 이미 해가 유일하다는 것이 증명되어 있어 어떤 방법으로도 방정식의 경계 조건을(여기서는 전극의 형상과 전위) 만족하도록 해를 구한다면 그것이 해가 된다. 따라서 식(2)에서  $i$ 점을 전극 표면의 각 요소에 위치시키면  $\phi_j$  는  $V$ 로 고정되고 식(2)는 식(3)과 같은 연립 방정식의 형태로 주어진다.

$$\begin{bmatrix} A_{11} & \cdot & \cdot & A_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{n1} & \cdot & \cdot & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \sigma_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ \cdot \\ \cdot \\ V \end{bmatrix} \quad (3)$$

$V$  : 전극의 전위  $\sigma_j$  : 각요소의 전하밀도  
 $A_{ij}$  : 각 요소 형상에 따른 전위 계수

즉, 식 (3)의 전위 계수 역행렬과 전위 벡터  $V$ 로부터 미지 전하량을 구할 수 있으며 이로부터 임의 점의 전위와 전계를 구할 수 있다.

### 2.2 다매질장

진공 중에 또는 단일 매질장에 도체와 또 다른 유전체가 존재할 경우의 장을 복합 유전체장 혹은 다매질장이라 한다. 이때 서로 다른 유전체 경계면에는 걸보기 전하가 나타나는데 표면전하법에서는 이를 모델링에 이용한다. 따라서 전하 중첩법처럼 계면 양측에 전하를 배치시킬 필요가 없으며 경계면에서는 그림 2와 같이 법선방향 전속밀도 연속조건만을 고려하게 된다.

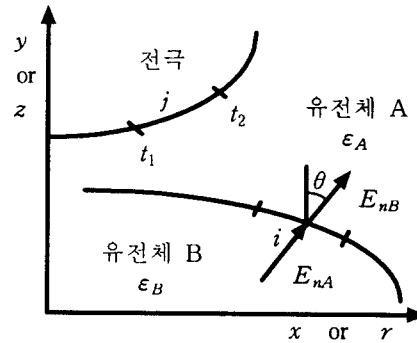


그림 2 유전체 경계면 조건 설명도  
Fig. 2 Schematic diagram of dielectric boundary surface condition

다매질장의 경계면 점  $i$ 에서의 전하밀도를  $\sigma(i)$ 라 하고, 법선방향의 전계를 각각  $\epsilon_A, \epsilon_B$ 의 영역에서  $E_{nA}, E_{nB}$ 라고 하고  $\sigma(i)$  이외의 전하에 의한 유전점의 전계를  $E_{no}$ 로 하면 다음의 식(4), 식(5)와 식(6)이 성립된다.

$$\epsilon_A E_{nA} = \epsilon_B E_{nB} \quad (4)$$

$$E_{nB} = E_{no} + \frac{\sigma(i)}{2\epsilon_0}$$

$$E_{nB} = E_{no} - \frac{\sigma(i)}{2\epsilon_0} \quad (5)$$

$$(\epsilon_A - \epsilon_B)E_{no} + \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2\epsilon_0} \sigma(i) = 0 \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} A \\ \cdot \\ \cdot \\ B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \cdot \\ \sigma_n \\ \sigma_{n+1} \\ \cdot \\ \sigma_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \cdot \\ \phi_n \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$A$  : 전위 계수  
 $B$  : 전계 계수  
 $\sigma_1 \sim \sigma_n$  : 전극 표면의 모의 표면전하  
 $\sigma_{n+1} \sim \sigma_m$  : 유전체 경계면의 모의 표면전하  
 $\phi_1 \sim \phi_n$  : 전극 표면의 전위

이 식은 유전체 경계면에 n 개의 미지 표면전하를 배치하면 n 개의 식을 만들 수 있다. 따라서 다매질장의 경우 식(3)의 시스템 방정식이 식(7)과 같이 변형된다. 이 식으로부터  $\sigma_1 \sim \sigma_m$  까지의 전하밀도를 구한 후, 이를 사용하여 원하는 장소의 전위 및 전계를 구할 수 있다.

**2.3 부유도체 (floating conductor)**

부유도체란 본 논문의 금속 이물질과 같이 외부에서 기지의 전압이 인가된 도체가 아니고 유전체에 떠 있는 도체를 의미한다. 이런 부유도체가 전압이 인가된 도체 주변에 있는 경우, 부유도체에는 타도체에 의해 전압이 유도된다. 이와같은 경우에는 부유도체의 전위를 알수 없으므로 타도체의 작용으로 발생하는 유도전위 값  $V_f$ 를 구해야 된다.

유도전압  $V_f$ 는 부유도체 표면전하의 합이 0인 것과 도체 표면의 전위가 같다는 조건 식으로부터 표면전하를 구하여 값을 얻을 수 있다. 즉 부유도체 각 요소의 전하밀도가  $\sigma_1 \sim \sigma_m$ 인 경우 각 요소에서의 유도전위  $V_f$ 는 식(8)이 되며 부유도체 표면 전하의 합이 0인 것으로부터 식(9)를 만들 수 있다.

$$\sum_{j=1}^m p(1, j)\sigma_j = V_1 = V_f$$

$$\sum_{j=1}^m p(2, j)\sigma_j = V_2 = V_f$$

.....

$$\sum_{j=1}^m p(m, j)\sigma_j = V_m = V_f \tag{8}$$

$$\sum_{j=1}^m \sigma_j = 0 \tag{9}$$

(8)식으로부터  $V_f$ 를 소거한 (m-1)개의 식과 (9)식으로부터 결국 m 개의 요소에 대해 m 개의 방정식을 얻을 수 있다. 한편 기지 전위의 다른 도체상의 요소에 대한 전위 방정식은 통상의 표면 전하법과 같아서 모든 도체의 표면전하에 대하여 다음의 식이 가능하다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 & \cdot & 0 \\ P_{11}-P_{21} & P_{12}-P_{22} & \cdot & P_{1m}-P_{2m} & \cdot & \cdot & P_{1n}-P_{2n} \\ P_{21}-P_{31} & P_{22}-P_{32} & \cdot & P_{2m}-P_{3m} & \cdot & \cdot & P_{2n}-P_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{m-1,1}-P_{m1} & P_{m-1,2}-P_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & P_{m-1,n}-P_{mn} \\ P_{m-1,1} & P_{m-1,2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & P_{m+1,n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \cdot \\ \sigma_m \\ \sigma_{m+1} \\ \cdot \\ \sigma_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ V_{m-1} \\ \cdot \\ V_m \end{bmatrix} \tag{10}$$

여기서  $\sigma_1 \sim \sigma_m$ 은 부유 도체 표면의 전하를 의미하며  $\sigma_{m+1} \sim \sigma_n$ 은 기지 전위의 전극 표면 모의 전하를 의미한다. 즉 식(10)을 풀어서 얻은 표면전하로부터 임의의 점의 전위, 전계를 구할 수 있고 유도 전압  $V_f$ 도 구할 수 있다. 부유 도체에 어떤 일정표면전하  $\sigma_f$ 가 인가된 경우는 식(9) 대신에 다음의 식(11)을 적용한다.

$$\sum_{j=1}^m \sigma_j = \sigma_f \tag{11}$$

**3. 적용 결과**

**3.1 정상 상태**

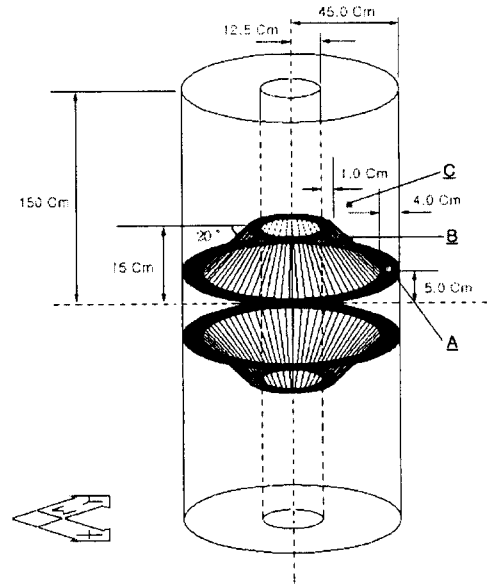


그림 3 적용 GIS 모델  
Fig. 3 Applied GIS model

그림 3과 같은 길이 300cm의 GIS의 내부 도체에 100[kV] 전압을 인가했을 경우의 도체표면, 절연체, GIS 내부의 전위 및 전계를 계산하였다. 도체를 지지하는 절연체는 에폭시 수지로 유전율을 3으로 가정하였고, 가스 절연체는 유전율을 1로 하였다.

표 1과 그림 4는 그림 3을  $y=0$ 인 평면으로 자른 단면도로 각 위치에서의 전계 방향과 세기를 나타내고 있다. 표 1에서 1, 2번은 고전압 인가 도체 부분으로 접선 방향 전계가 나오지 않고 있으며, 3, 4, 5번은 고체 절연체 표면부분으로 전계가 법선방향과 접선 방향으로 표현되었다. 특히 3번은 고전압 인가도체에 인접하고 있는 절연체 표면으로서 접선 방향 전계 강도가 다른 곳 보다 크기 때문에 연면 방전의 원인이 될 수 있음을 알 수 있다.

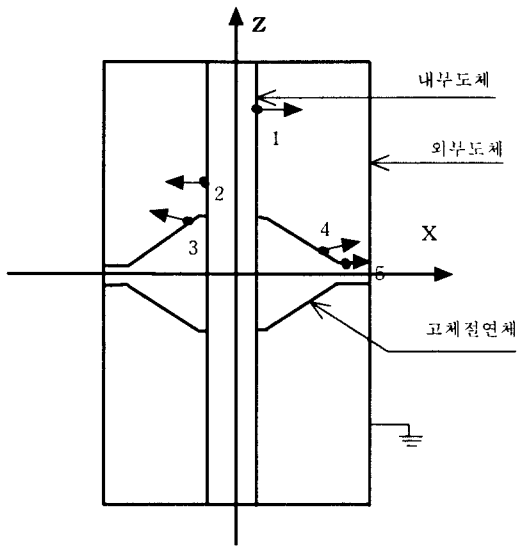


그림 4 y=0[cm]에서 x-z 평면의 강도 및 방향  
Fig. 4 Electric field intensity and direction in x-z plane at y=0[cm]

표 1 y=0[cm]에서 x-z 평면의 전기 강도  
Table 1 Electric field in x-z plane at y=0[cm]

번호	x축, y축, z축 (cm)	$\phi$ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	$ E $ (kV/cm)	$E_n$ (kV/cm)	$E_t$ (kV/cm)
1	11.7, 4.07, 125	100	6.58	2.58	0.30	7.08		
2	-9.36, 8.06, 25.0	100	-3.76	3.48	0.19	5.13		
3	10.95, -14.1, 13.33	79.54	2.57	-3.31	0.90	4.29	2.29	3.62
4	-30.23, 19.81, 6.67	24.14	-2.31	1.50	0.55	2.81	1.46	2.40
5	9.04, 13.5, 5.0	10.30	2.53	0.90	-0.01	2.69	-0.01	2.69

그림 5, 6은 z=11[cm]와 95[cm]에서, x-y 평면의 전기 방향과 세기를 표현하고 있으며 그 값을 표 2, 표 3에 나타내었다. 표 2에서 알 수 있듯이 z=95[cm]의 평면에는 고체 절연체의 영향이 거의 없어 z 방향 전계가 없었고 표 3은 표 2와 x,y 좌표가 같은 고체 절연체 주위로 전기장강도가 표 2의 경우에 비해 약 1.2배 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 고체 절연체 부근에서는 전계가 고체 절연체의 영향으로 다른 곳보다 증가 되어 금속 이물질이 발생하면 쉽게 절연파괴가 진전될 수 있음을 예상할 수 있다.

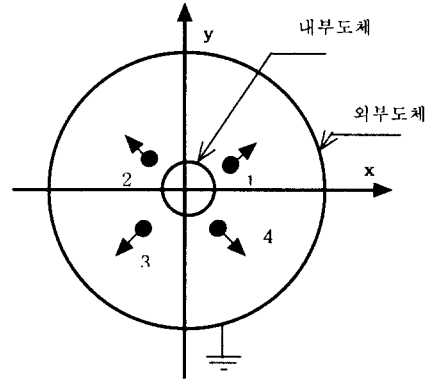


그림 5 z=95[cm]에서 x-y 평면의 전기 강도 및 방향  
Fig. 5 Electric field in x-y plane at z=95[cm]

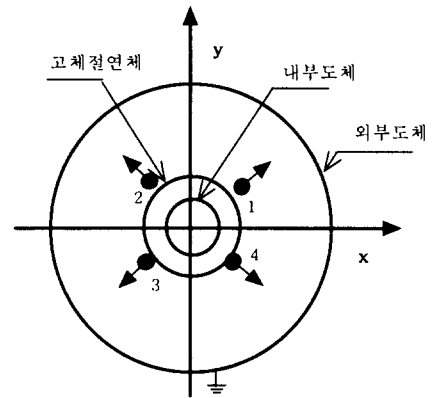


그림 6 z=11[cm]에서 x-y 평면의 전기 강도 및 방향  
Fig. 6 Electric field in x-y plane at z=11[cm]

표 2 z=95[cm]에서 x-y 평면의 전기 강도  
Table 2 Electric field in x-y plane at z=95[cm]

번호	x축, y축, z축 (cm)	$\phi$ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	$ E $ (kV/cm)
1	25, 16, 95	31.66	2.19	1.40	0.000	2.60
2	-20, 20, 95	35.48	-1.93	1.94	0.000	2.74
3	-22, -17, 95	36.82	-2.20	-1.70	0.000	2.79
4	18, -20, 95	39.26	1.92	-2.13	0.000	2.87

표 3 z=11[cm]에서 x-y 평면의 전계 강도

Table 3 Electric field in x-y plane at z=11[cm]

번호	x축, y축, z축, (cm)	r (cm)	Φ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	E  (kV/cm)
1	25, 16, 11	29.68	39.96	2.50	1.60	0.57	3.02
2	-20, 20, 11	28.28	44.30	-2.19	2.19	0.61	3.15
3	-22, -17, 11	27.80	45.81	-2.48	-1.93	0.63	3.21
4	18, -20, 11	26.90	48.54	2.15	-2.39	6.66	3.29

3.2 공극이 있는 경우

공극이 고체 절연체 내부에 생긴 것을 고려하여 해석한 것으로 공극은 가로, 세로, 높이가 1cm인 정육면체로 내부는 유전율이 1인 가스가 있는 것으로 가정하였다.

표 4는 공극이 내부 고전압 인가도체 표면에 있는 경우(중심 좌표 x=13.0cm, y=0.5cm, z=8.5cm)의 공극 내부 전계 강도를 같은 위치에서 공극이 없을 때의 전계 강도와 비교한 것이다. 이때 공극이 있는 경우의 전계가 약 1.2배 커지고 전계분포가 불평등해 짐을 알 수 있다.

표 5는 공극을 내부 고전압 인가도체에서 2cm 떨어진 위치(중심 좌표 x=14.6cm, y=0.5cm, z=8.5cm)에 놓고 검토한 것으로 전계가 약 1.3배 증가하였다. 표 6은 공극이 내부 고전압 인가도체에서 6cm 떨어진 곳에 있는 경우(중심 좌표 x=18.6cm, y=0.5cm, z=8.5cm)로 전계가 약 1.4배 증가되어 공극의 위치에 따라 전계 분포가 크게 변화하고 있지 않음을 알 수 있었다.

표 4 고전압 인가 도체와 붙어 있는 공극 내부의 전계 강도

Table 4 Electric field inside void at high voltage conductor

(a) 공극이 있는 경우

(a) Case with void

번호	x축, y축, z축 (cm)	Φ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	E  (kV/cm)
1	12.6, 0.5, 8.9	99.61	5.12	0.07	-0.64	5.16
2	12.6, 0.5, 8.5	99.43	5.37	0.07	-0.25	5.38
3	13.0, 0.5, 8.5	97.05	6.66	0.09	-0.24	6.66

(b) 공극이 없는 경우

(b) Case without void

번호	x축, y축, z축 (cm)	Φ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	E  (kV/cm)
1	12.6, 0.5, 8.9	99.91	4.65	0.06	-0.19	4.66
2	12.6, 0.5, 8.5	99.83	4.66	0.06	-0.19	4.66
3	13.0, 0.5, 8.5	97.97	4.64	0.07	-0.19	4.64

표 5 고전압 인가 도체와 2cm 떨어져 있는 공극 내부의 전계강도

Table 5 Electric field inside void which is 2[cm] distant from high voltage conductor

(a) 공극이 있는 경우

(a) Case with void

번호	x축, y축, z축 (cm)	Φ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	E  (kV/cm)
1	14.6, 0.5, 8.9	90.86	5.26	0.14	-0.35	5.28
2	14.6, 0.5, 8.5	90.73	5.74	0.15	-2.97	5.75
3	15.0, 0.5, 8.5	88.83	6.46	0.14	-0.28	6.47

(b) 공극이 없는 경우

(b) Case without void

번호	x축, y축, z축 (cm)	Φ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	E  (kV/cm)
1	14.6, 0.5, 8.9	90.83	4.36	0.11	-0.23	4.37
2	14.6, 0.5, 8.5	90.73	4.37	0.11	-0.22	4.38
3	15.0, 0.5, 8.5	89.00	4.29	0.11	-0.23	4.30

표 6 고전압 인가 도체와 6cm 떨어져 있는 공극 내부의 전계강도

Table 6 Electric field inside void which is 6[cm] distant from high voltage conductor

(a) 공극이 있는 경우  
(a) Case with void

번호	x축, y축, z축 (cm)	$\Phi$ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	$ E $ (kV/cm)
1	18.6, 0.5, 8.9	74.96	4.37	0.11	-0.45	4.40
2	18.6, 0.5, 8.5	74.79	4.77	0.12	-0.38	4.79
3	19.0, 0.5, 8.5	73.33	5.11	0.11	-0.36	5.12

(b) 공극이 없는 경우  
(b) Case without void

번호	x축, y축, z축 (cm)	$\Phi$ (kV)	$E_x$ (kV/cm)	$E_y$ (kV/cm)	$E_z$ (kV/cm)	$ E $ (kV/cm)
1	18.6, 0.5, 8.9	74.91	3.62	0.09	-0.30	3.64
2	18.6, 0.5, 8.5	74.79	3.63	0.09	-0.28	3.64
3	19.0, 0.5, 8.5	73.35	3.57	0.09	-2.95	3.58

3.3 금속 이물질이 존재하는 경우

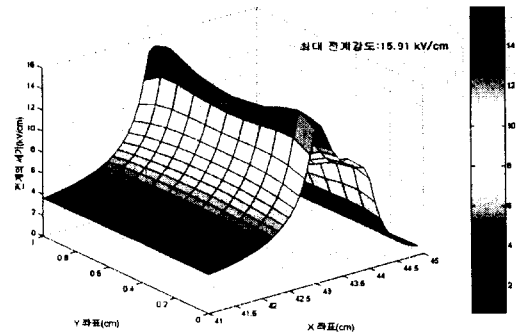
금속 이물질이 있는 경우도 공극이 있는 경우와 같은 조건을 주었으며, 이물질의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 1cm인 정육면체로 가정하였다.

그림 7은 그림 3의 A위치와 같이 이물질이 접지 전극측의 고체 절연체 부분(중심좌표  $x=43.5\text{cm}$   $y=0.5\text{cm}$   $z=155.5\text{cm}$ )에 접촉하고 있는 경우로 이물질이 존재하지 않는 경우와 비교, 검토한 결과이다. 그림 7로부터 이물질이 있는 경우의 최대 강도는 약 5.8배 증가함을 알았다.

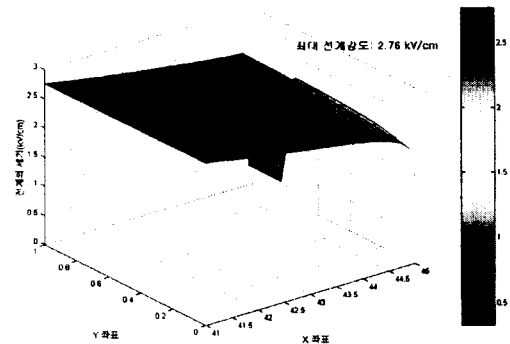
그림 8은 그림 3의 B위치와 같이 이물질이 고체 절연체의 경사 부분(중심좌표  $x=24.937\text{cm}$   $y=0.5\text{cm}$   $z=161.5\text{cm}$ )에 있는 경우로 이물질이 없을 때의 전계 강도와 비교한 결과이다. 이 경우는 그림 7과 달리 크게(약 21.7배) 증가함을 보여주고 있다. 따라서 그림 7, 8로부터 이물질이 고체 절연체 표면에 존재하는 경우, 고전압 인가도체에 가까이 있을수록 전계 불균일도가 증가함을 알 수

있다.

그림 9는 그림 3의 C위치와 같이 이물질이 가스 절연체에 있는 경우(중심좌표  $x=25\text{cm}$   $y=0.5\text{cm}$   $z=170.5\text{cm}$ )로 이물질이 없을 때의 전계 강도와 비교한 결과이다. 즉 그림 3의 B의 위치로부터 가스 절연체 쪽으로 약 9cm 떨어진 경우로 최대 전계강도가 약 20.6배 증가함을 알 수 있었다.

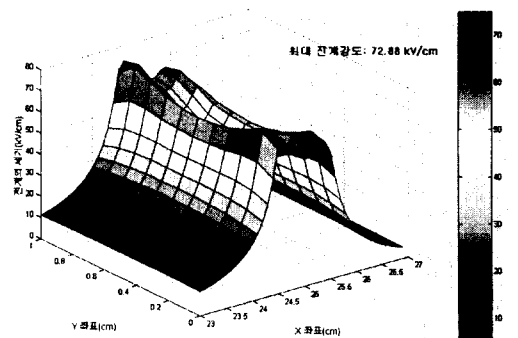


(a) 이물질이 있는 경우  
(a) Case with a metal impurity



(b) 이물질이 없는 경우  
(b) Case without a metal impurity

그림 7 그림 3의 A위치의 이물질 표면 전계 강도  
Fig. 7 Electric field on a metal impurity surface which exists at position A of Fig. 3



(a) 이물질이 있는 경우  
(a) Case with a metal impurity

3. 결 론

본 논문에서는 가스 절연체와 고체 절연체가 복합적으로 존재하는 다매질장의 GIS 내부 전위 및 전계분포를 삼각형 요소 표면전하법으로 해석 하였다.

특히 GIS내부에서 SF<sub>6</sub>가스는 전계 의존성이 크기 때문에 전계 불균일 분포에 큰 영향을 미칠 것으로 생각되는 고체 절연체 내부 공극과 금속 이물질에 관하여 검토하였다. 이런 공극과 이물질이 존재하면 대부분 대칭성이 전혀 없는 일반 3차원의 경우로 해석이 매우 어려우나 본 기법을 사용하면 큰 계산 오차 없이 해석이 가능함을 확인하였다.

해석 결과로 고체 절연체 및 가스 절연체의 각 위치에 공극과 금속 이물질이 존재하지 않는 경우에 2~4(kV/cm)의 균등한 전계가 형성됨을 알았다. 반면에 금속 이물질이 존재하는 경우에는 금속 이물질이 접지된 도체를 지지하는 고체 절연체 표면에 있는 것보다 고전압인가 도체를 지지하는 고체 절연체 표면에 있는 쪽이 전계를 급속히 증가시킴을 알았다. 이에 비해 공극의 존재는 전계를 크게 증가시키지 못해 영향이 그다지 크지 않음을 알았다.

이것으로 금속 이물질이 가스 절연체내에 존재하는 경우 금속 이물질 주위에는 불균등 전계가 형성되어 가스절연체로 사용하고 있는 SF<sub>6</sub> 가스의 절연효과를 급속히 감소시켜 절연과피가 쉽게 발생할 수 있음을 알았다.

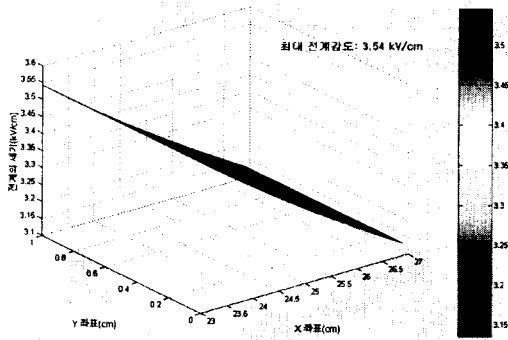
또한 이 기법을 이용하여 추후에는 고체 절연체 형상이 공극과 금속 이물질 존재시의 내부 전계분포에 어떤 영향을 미치는가를 검토하여 GIS 최적 절연체 형상을 설계할 예정이며 이것이 GIS의 부분방전 특성과 어떤 연관 관계를 갖는가를 실험할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사에서 지원한 기초전력공학 연구소 98-중-01 과제로 수행되었음.

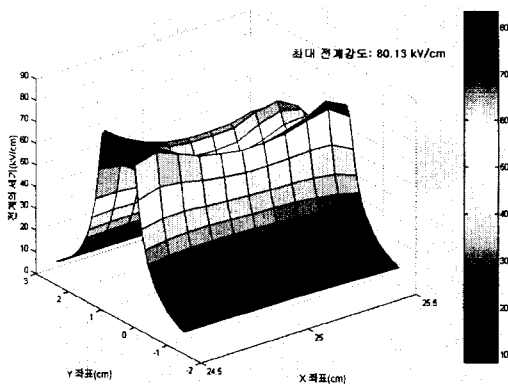
참 고 문 헌

- [1] 민석원, 김정부, "코로나 케이지를 이용한 765kV 초고압 송전선 다중 도체방식 선정", 대한 전기학회 논문지, 7호, 제42권, pp. 84-94, 1993.
- [2] 민석원, 박종근, "코로나 잡음 특성을 고려한 초고압 송전선의 다중 도체 배열 방식 연구", 대한 전기학회 논문지, 5호, 제39권, pp. 508-515, 1990.
- [3] S.W. Min, J.B. Kim, D.I. Lee, "A Study on Corona Characteristics of Symmetric and Asymmetric Conductor Bundle for 765kV Double Circuit Transmission Line by the Use of Corona Cage", Proc. of 8th ISH, Vol.3, pp. 457-460, 1993.
- [4] S.W. Min, J.K. Park, J.B. Kim, "Conductor Bundle Geometry Optimization in view of Conductor Surface Gradient", IEE Japan, vol. 111-B, pp. 1065-1072, 1991.
- [5] 김 용준, 민 석원, 김 응식, "일반 3차원 표면 전하법을 이용한 GIS 내부 전계해석", 대한전기학회 1999년도

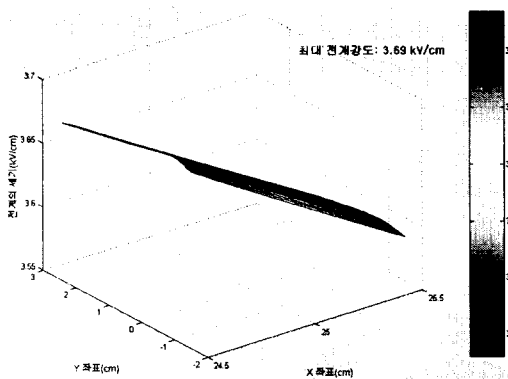


(b) 이물질이 없는 경우  
(b) Case without a metal impurity

그림 8 그림 3의 B위치의 이물질 표면 전계 강도  
Fig. 8 Electric field on a metal impurity surface which exists at position B of Fig. 3



(a)이물질이 있는 경우  
(a) Case with a metal impurity



(b) 이물질이 없는 경우  
(b) Case without a metal impurity

그림 9 그림 3의 C위치의 이물질 표면 전계 강도  
Fig. 9 Electric field on a metal impurity surface which exists at position C of Fig. 3

방전·고전압 연구회 춘계 학술 발표회, pp. 243-247, 1999

[6] T.Kouno, T.Takuma, "Numerical Calculation Methods of Electric Fields", Corona Pub.Co., Tokyo, 1980, Appendix 6, pp. 224-225.

[7] T.Kouno, T. Takuma, *ibid.*, chap. 16, pp. 160-178.

저 자 소 개



민 석 원 (閔錫源)

1958년 1월 3일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1984년~1991년 한전 기술연구원 계통연구실 근무. 1996년~

1997년 일본 교토대학 방문교수. 현재 순천향대 정보기술공학부 부교수

Tel : 0418-530-1338, Fax : 0418-530-1373

E-mail : swonmin@sch.ac.kr



김 응 식 (金應植)

1961년 12월 26일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 호서대 제 3공학부 부교수

Tel : 0418-540-5453, Fax : 0418-540-5450

E-mail : eskim@dogsuri.hoseo.ac.kr



김 용 준 (金容俊)

1973년 4월 29일생. 1998년 2월 순천향대 전기공학과 졸업. 1999년- 현재 순천향대 정보기술공학부 전기공학전공 석사과정

Tel : 0418-530-1333, Fax : 0418-530-1373

E-mail : kyj1973@enterprise.sch.ac.kr