

## 전하중첩법에서 가상전하 배치의 방법

강중성, 최원준, 박정호, 고광철\*, 김영근\*\*, 최종웅\*\*  
한양대학교 전기공학과, \*한양대 전자전기공학부, \*\*LG산전 전력연구소

### The Rules for Arrangement of Simulation Charge on CSM

J.S. Kang, W.J. Choe, J.H. Park, K.C. Ko, Y.G. Kim\*, J.W. Choe\*  
Hanyang University, \*LG Industrial Systems Co., Ltd.

**Abstract** - It is necessary to know the accurate field distribution around the high power apparatus, in designing it. To calculate the field around electrodes, we use the Charge Simulation Method(CSM) among several numerical methods and develop the new "Field Analysis System", by which we can draw the shape of electrodes, save the drawing in ascii code and apply CSM on the data. In the Field Analysis System, we try several rules for arrangement of simulation charge on CSM and consider their accuracy.

#### 1. 서 론

오늘날 여러 가지 모양의 대전력기기가 등장함에 따라 그 기기의 전극부분의 전계분포를 알아야 하는 필요성이 더욱 더 커졌다. 이 전계분포를 실제로 라플라스 방정식을 경계조건에 따라 푸는 해석적인 방법으로 정확한 해를 구하는 경우가 여러 가지 실험을 통해 전계분포를 구할 수 있겠지만, 이는 현실적으로 불가능한 경우가 많으므로, 보통 여러 가지 수치적인 방법을 많이 쓴다. 그 중 전하중첩법(Charge Simulation Method, CSM)은 열린 공간에 적합하고, 일반적으로 가상전하량이 결정되면 직접 전계를 구할 수 있으며 현저한 미지수의 감소와 빠른 계산속도등의 장점을 가지고 있다. 그러나 이 전하중첩법은 전극의 형상을 모의하는 가상전하의 배치가 계산의 정확도를 결정하므로 반 해석적인 방법이라고도 불릴 만큼 가상전하배치에는 실험자의 경험이 매우 중요하다. 본 연구는 기존의 가상전하의 배치방법을 전계해석 시스템에 적용하고 개발함에 목적을 두고있다.

#### 2. 본 론

전하중첩법에 대한 설명과 이 전하중첩법에서 정확도에 현저한 영향을 미치는 가상전하 배치의 방법에 대해서 이야기한다.

#### 2.1 전하중첩법

현재의 전하중첩법은 전통적인 전하중첩법[1]에서 수정된 방법들[2]이 많이 나오고 있으나, 여기서는 전통적인 전하중첩법을 이용한다.

##### 2.1.1 전하중첩법의 내용

전하중첩법은 실제 전극형상을 여러 가지 종류의 가상전하들로 근사하고 이  $n$ 개의 가상전하들의 전하량은 주어진  $m$ 개의 윤곽점들에서 경계조건을 만족시킴으로써 구할 수 있다. 즉

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \vdots \\ \phi_m \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서  $P_{ij}$ 는 각각의 가상전하종류에 따라 결정되는 전위계수이고,  $\phi_j$ 는 기지의 도체의 전위가 되고,  $Q_j$ 는 가상전하의 전하량을 나타내는 미지수이다. 위의 선형연립방정식을 가우스소거법과 같은 방법으로 풀어서 가상전하의 전하량을 결정할 수 있다.

따라서 가상전하의 종류, 위치와 가상전하의 전하량을 이용해 모든 관심의 영역에서 전위 및 전계를 중첩의 원리를 이용해 구할 수 있게 된다.

$$\phi_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} Q_j \quad (2)$$

그러나 전극형상을 근사할 가상전하들은 항상 관심이 되는 영역의 바깥에 배치하여야 하고, 가상전하의 종류와 위치, 개수는 계산된 전계의 정확도에 현저한 영향을 미치므로 좋은 결과와 효율을 얻기 위해서는 실험자의 경험에 크게 의존한다.

#### 2.2 전계해석 시스템의 개발

본 연구에서는 전하중첩법을 이용하여 2차원 전계해석 시스템을 개발하였다. 이 전계해석 시스템을 이용하여 먼저 실험자가 전극형상을 그리고 이

그러진 도면은 선분 원호 등의 요소로 보고 각 요소들의 데이터들을 아스키형태로 파일로 저장된다. 이 아스키형태의 정보를 이용해 여러 가지 가상전하 배치방법을 적용하여 자동적으로 각 요소에 가상전하를 배치하고 윤곽점도 결정하여 가상전하의 전하량을 구하여 관심의 영역에서 전위 및 전계를 구할 수 있다.

### 2.2.1 전계해석 시스템의 구성

개발된 전계해석 시스템의 실제 구성과 계산예를 그림 1에 나타내었다. 코딩의 환경은 LINUX를 OS로 하는 PC에서 Xlib와 Motif 등을 이용하였다.

### 2.2.2 전계해석 시스템에 적용한 배치 방법

개발된 전계해석 시스템에는 여러 가지 가상전하 배치의 방법을 다음의 표 1과 같이 적용해 보았다.

배치방법 A, B, C에 따라, 도면의 아스키정보를 이용해 모든 요소들의 개수와 길이의 합을 구해 가상전하의 개수를 결정하여 각 요소들의 길이에 따라 가상전하를 비례 배분하고 첫 번째 가상전하는 요소의 시작에서 가상전하 간격의 반정도를 띄어서 배치되게 한다. 또 배치방법 D는 도면을 그릴 때 전계가 집중될 것이라 예상되는 요소, 혹은 전계특이점을 포함하는 요소를 표시하여 그 요소에 가상전하가 상대적으로 많이 배치되도록 한다.

그리고 그림 1은 접지 평면을 가지는 타원전극을 가상전하 배치방법 A~E에 따라 순전히 점전하만으로 모의한 결과이다.

그림 2는 Rod Plane전극을 가상전하 배치 방법 A~F에 따라 순전히 점전하만으로 모의한 결과이다.

예전의 논문에서[2] 많이 다루어 왔던 예중에서 Rod-Plane전극은 반무한장요소를 포함하는 대표적인 경우이어서 그 전극의 모의에서는 유한장선분전하 혹은 무한장선분전하를 이용해 왔다. 특히 Rod

배치방법	내 용
A	요소총수 E에 대해 사용하는 가상전하 총수 N의 초기치를 다음과 같이 한다. $1 \leq E \leq 4 \rightarrow N = 50$ $5 \leq E \leq 9 \rightarrow N = 100$ $10 \leq E \leq 19 \rightarrow N = 200$ $20 \leq E \rightarrow N = 500$
B	모든 요소의 길이의 합이 L일 때, 길이가 l인 요소에 $N \frac{l}{L}$ 개의 가상전하가 주어진다.(길이에 비례배분)
C	윤곽점의 시작과 끝은 근방의 윤곽점 간격의 반이 되게 한다.
D	전계특이점 근방이나 전계가 집중된다고 예상되는 곳에서는 가상전하를 더 많이 배치한다.
E	$f_0$ 를 0.5에서 2.0까지 변환시켜서 최적의 값을 찾아서 이용한다.
F	요소가 한 방향으로 무한한 길이를 가질 때, 특히 반무한장선분요소일 때 가상전하의 간격을 점점 더 넓게 배치한다.

## 2.3 가상전하 배치 방법

표 1. 전계해석 시스템에 적용한 배치 방법

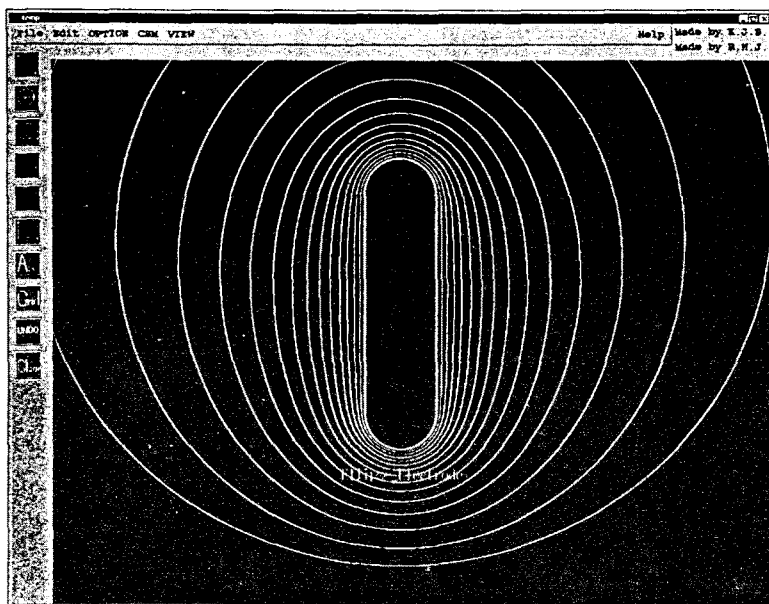


그림 1. 타원전극의 등전위면

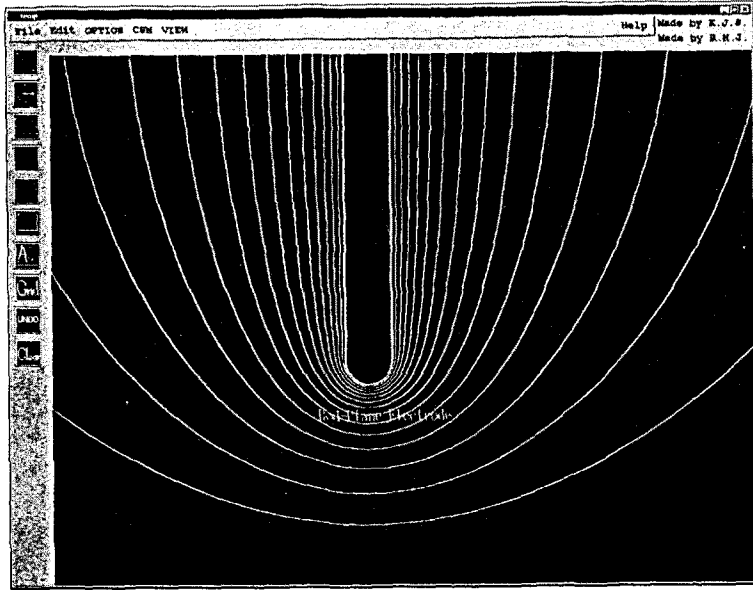


그림2. Rod-Plane 전극의 등전위면

전극의 원통부분에는 선분전하를 많이 썼지만 계산의 단순함과 가상전하의 자동배치를 위해 본 논문에서는 선분전하를 모두 점전하로 대체하였고 Rod 전극의 원통부분에는 보통 관심이 되는 부분의 두 세 배 정도까지만 점전하를 배치하였다. 먼저 각 도면마다 최대의 정확도를 내는  $f_0$ 를 찾기 위해 전계해석 시스템의 알고리즘에서  $f_0$ 를 0.5에서 2.0까지 변환시켜 최소의 오차값을 내는  $f_0$ 를 잡았다. 그리고 점전하를 Rod전극의 원통부분에 배치함에 있어서 배치방법 F에 따라 점전하의 간격을 시작에서부터 점점 넓게 배치하여 가상전하의 개수가 줄어들고 나아가 정확도가 개선되는 결과를 얻었다. 점전하를 점점 넓게 배치하는 비율은 각 도면마다 일정하지 않고 각각 다르게 나타났으며, 잘못된 비율은 오히려 정확도를 떨어뜨리는 결과도 나왔다. 계산의 정확도는 전극의 표면에 검사점을 운곽점 개수만큼 잡아 계산된 결과와 경계조건을 비교하여 살펴보았다.

### 3. 결 론

기존의 가상전하 배치방법과 무한장선분요소로 주로 쓰여온 유한장선분전하와 무한장선분전하를 모두 점전하로 대체하고 가상전하 간격을 점점 넓게 잡아서 정확도를 개선했다. 그리고 각 도면에는 최소의 오차를 내는  $f_0$ 를 찾기 위해 0.5에서 2.0까지 변환시켜 오차를 줄였다. 그리고 요소의 길이가

정해지면  $f_0$ 은 배치방법 F에 관계없이 항상 어떤 값에서 최소의 오차를 내는 것을 알 수 있었고, 여기에 배치방법 F를 더하여 오차를 더욱 줄였다. 그리고 배치방법 A는 요소의 개수가 많아지고 전극 모양이 복잡해지면 잘못된 결과가 나오는 경우도 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] H. Singer, H. Steinbigler and P. Weiss, "A charge simulation method for the calculation of high voltage fields", IEEE Trans. PAS, Vol. 93, pp. 1660-1668, 1974
- [2] Nazar H. Malik, "A review of charge simulation method and its applications", IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol. 24 No. 1, pp. 3-20, 1989