

차세대 전계해석 시스템의 개발

Development of The New Field Analysis System

강종성* 한양대학교 대학원 전기공학과

고광철* 한양대학교 전자전기공학부

강형부* 한양대학교 전자전기공학부

Jong-Sung Kang Hanyang University

Kwang-Cheol Ko Hanyang University

Hyung-Boo Kang Hanyang University

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.

At first, we simulate the case with simple electrode geometry and confirm the adequacy of the rules. With the Field Analysis System applied the rules, we simulate the main electrode of load switchgear. As a result of the simulation, equipotential line, flux line and field strength on male electrode are drawn.

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 경우나 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 계산속도 등의 장점을 가지고 있다. 이 전하중첩법을 이용하여 전극모양의 도면을 그리는 Pre처리기부분 그리고 그려진 도면정보를 전하중첩법을 적용해 전극주변의 등전위면과 전계 그리고 전기력선을 그리는 Post처리기로 구성된 전계해석 시스템을 개발한다. 그러나 이 전하중첩

법은 전극의 형상을 모의하는 가상전하의 배치가 계산의 정확도를 결정하므로 반해석적인 방법이라고도 불릴 만큼 가상전하배치에는 실험자의 경험 이 매우 중요하다. 본 연구에서는 해석결과의 정확도를 개선하기 위해 기존의 가상전하의 배치원리를 전계해석 시스템에 적용하고 새로운 가상전하 배치방법을 적용해 본다.

2. 본 론

2.1 전하중첩법

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

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

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

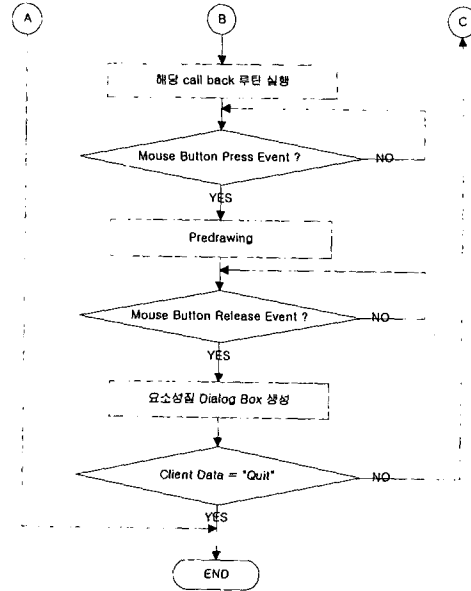
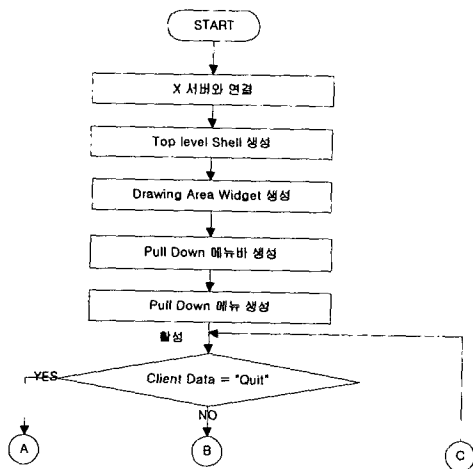
따라서 가상전하의 종류, 위치와 가상전하의 전하량을 이용해 모든 관심의 영역에서 전위 및 전계를 중첩의 원리를 이용해 구할 수 있게 된다.

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

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

2.2 전계해석 시스템

본 연구에서는 전하중첩법을 이용하여 2차원 전계해석 시스템을 개발하였다. 이 전계해석 시스템은 일반 범용 CAD를 이용하지 않고 실험자가 직접 전극형상을 그리는 Pre처리기와 그려진 도면에 전하중첩법을 적용하여 그 결과 전극주변의 등전위면과 전기력선, 전계의 세기 등을 시각적으로 표현하는 Post처리기로 구성되어 있다. 그려진 도면은 선분 원호 등의 요소로 보고 각 요소들의 데이터들은 아스키형태로 파일로 저장된다.



2.3 가상전하 배치방법

개발된 전계해석 시스템에는 여러 가지 가상전하 배치방법을 다음의 표 2·1과 같이 적용해 보았다.

배치방법 A, B, C에 따라, 도면의 아스키정보를

배치 방법	
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 2.4까지 변환시켜서 최적의 값을 찾아서 이용한다.
F	요소가 한 방향으로 무한한 길이를 가질 때, 특히 반무한장선분요소일 때 가상전하의 간격을 점점 더 넓게 배치한다.

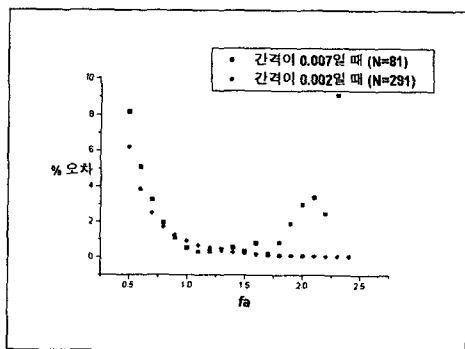
표 2·1 전계해석 시스템에 적용한 배치방법

이용해 모든 요소들의 개수와 길이의 합을 구해 가상전하의 초기개수를 결정하여 각 요소들의 길이에 따라 가상전하를 비례배분하고 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 다른 요소에 비해 많이 배치되도록 한다. 이렇게 다른 요소보다 많은 가상전하를 배치하는 작업은 가상전하 배치의 국소성으로 인해 다른 요소에는 영향을 미치지 않는다. 무한장선분요소에 선분전하대신에 점전하를 배치하고 최적의 fa 를 찾는다.

먼저 전극구조가 비교적 간단한 Rod Plane전극을 실험하여 각종 배치방법의 타당성과 특징을 살펴본다.

2.4 배치방법 A의 적용

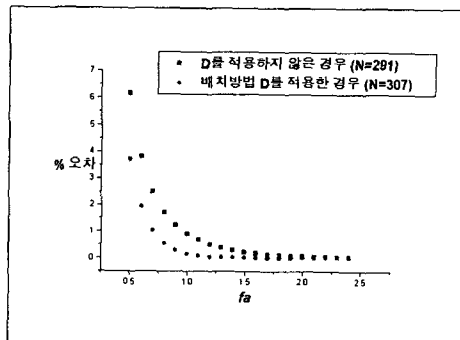
가상전하 배치방법 A는 가상전하의 개수와 밀접한 관계가 있다. 만일 A를 적용했을 때는 전극의 구조가 복잡함에는 관계없이 초기가상전하수를 결정하여 큰 오차를 내는 경우가 있다. 만일 이런 경우는 실험자가 손수 m 단위로 가상전하의 간격을 결정해 주면 된다. 또 전극의 구조가 간단한 경우는 대개 가상전하가 많은 쪽이 정확도가 높다. 그림 2·1은 사용자가 직접 간격을 준 경우이다.



< 그림 2·1 배치방법 A의 적용 >

2.5 배치방법 D의 적용

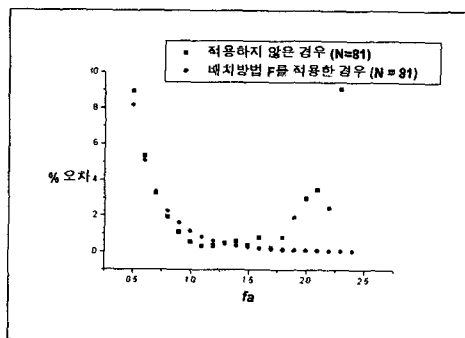
Rod전극의 아래로 볼록한 반구요소에 전계가 상대적으로 집중될 것이 예상되므로 이 요소에 다른 요소에 비해 2배정도 많이 배치하였다. 그 결과 그림 2·2와 같이 오차가 줄어들었음을 알 수 있다.



< 그림 2·2 배치방법 D의 적용 >

2.6 배치방법 F의 적용

배치방법 F에 따라 무한장선분요소에서 가상전하의 간격을 시작에서부터 점점 넓게 배치한다. 같은 가상전하수임에도 거의 최고 50%정도 정확도가 개선되었다.



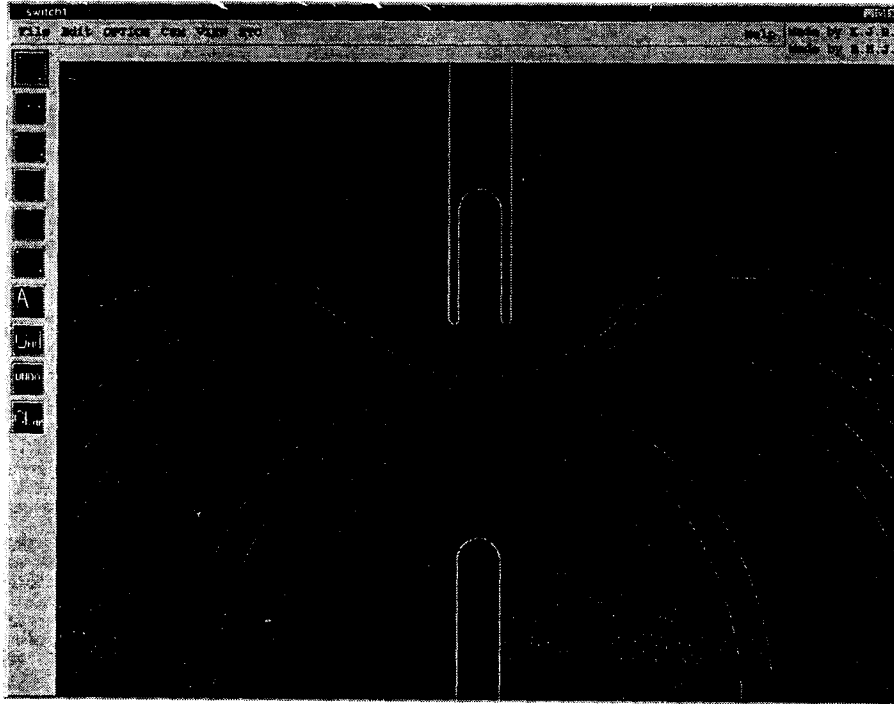
< 그림 2·3 배치방법 F의 적용 >

2.7 전계해석 시스템의 적용

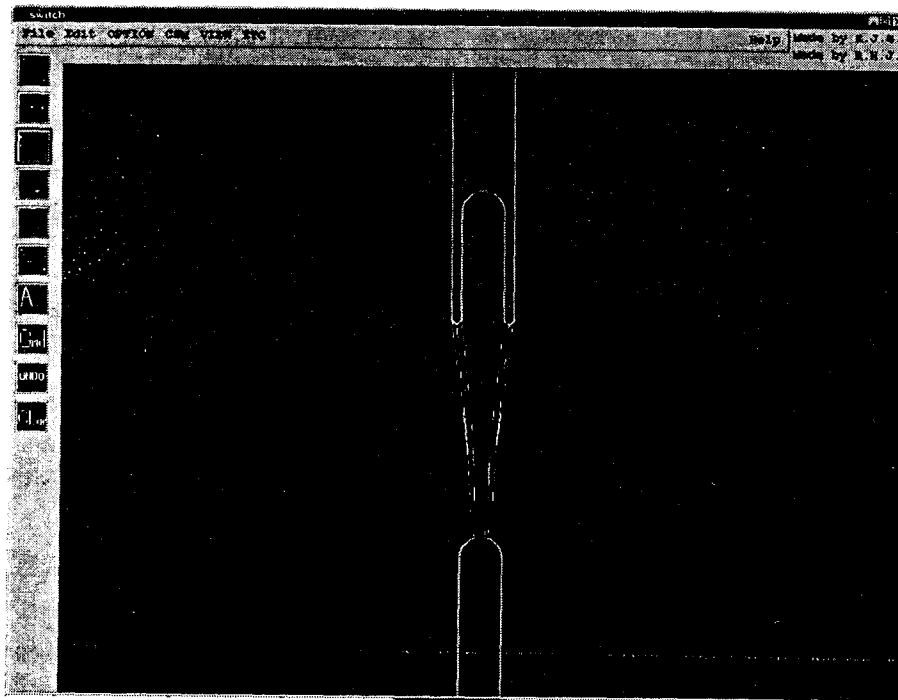
앞에서 타당성을 실험한 여러 가지 배치방법을 실제로 개폐기에 적용하여 본다. 전극에서 튀어나온 부분과 오목하게 들어간 부분에 전계가 집중된다고 생각하고 그 곳에는 가상전하를 상대적으로 많이 배치하였다.

그림 2·4는 개폐기 암수전극의 등전위면 그림이다. 그림에서 등전위면이 촘촘한 부분은 그래디언트값이 커져서 자연히 전계세기가 큰 지역이 된다. 그림 2·5은 개폐기의 전기력선을 표현한 것이다.

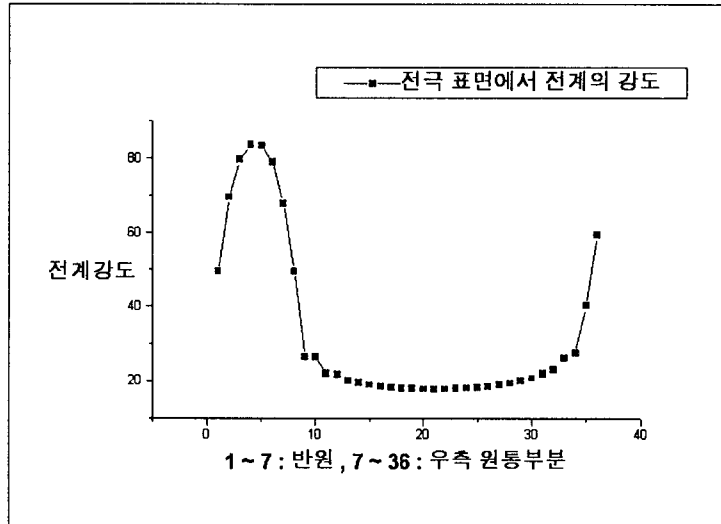
또 전극의 표면에서 전계의 상대적 세기를 그림 2·6에 나타내었는데, 예상한 대로 수전극의 볼록한 부분에 상대적으로 전계가 원통부분의 전계보다 큰 것을 알 수 있다.



< 그림 2·4 개폐기의 등전위면 >



< 그림 2·5 개폐기의 전기력선도 >



< 그림 2·6 전극표면의 전계의 세기 >

[참고 문헌]

3. 결 론

대전력기기의 설계를 위해서는 전극 주변의 전계분포를 알 필요가 있고, 이는 대부분 해석적인 해가 불가능한 경우가 대부분이므로 여러 가지 수치적인 방법을 이용한다. 그 중에서 이점이 많은 전하중첩법을 이용하여 전계해석 시스템을 만들었다. 전계해석 시스템에는 일반 범용CAD에서 그려진 도면을 이용하지 않고 그려진 도면의 자동 수정을 위하여, 도면을 그리는 Pre처리기와 그려진 도면의 정보를 이용하여 전하중첩법을 적용해 그 결과를 시각적으로 표현하는 Post처리기로 구성되어 있다.

그러나 전하중첩법에서는 가상전하의 배치가 계산의 정확도에 현저한 영향을 끼치므로 이 가상전하의 배치방법이야말로 중요하고 이 실험자의 시행착오를 반복해야지만 알 수 있는 것이다. 그래서 개발된 전계해석 시스템에 기존에 있는 것과 새로운 여러 가지 배치방법을 적용하고 그 여러 가지 경우에 오차를 조사하였다. 그 결과 배치방법 A~F의 타당함을 알았고, 실제로 개폐기의 전극구조에 적용해 보아 개폐기 전극 주변의 등전위면과 전기력선과 전극 주변의 전계세기를 알아보았다.

- [1] Nazar H. Malik, "A Review of the Charge Simulation Method and its Applications", IEEE Trans., Vol. 24, No. 1, 1989, pp. 3-20.
- [2] 村島定行, "代用電荷法とその應用", 森北出版株式會社.
- [3] H. Singer, H. Steinbigler and P. Weiss, "A Charge simulation method for the calculation of high voltage fields", IEEE Trans. PAS, Vol. 93, 1974, pp. 126-134.
- [4] Adrian Nye, "Xlib Programing Manual for version 11", O'Reilly & Associates, Inc.