

정전계의 계산법

金 應 植 (湖西大 産業安全工學科 教授)

1. 서 론

전계의 계산은 정전기 응용기기의 설계, 상용 주파수 교류 고전압기기의 절연설계 및 정전유도 현상 해석등에 사용되어 온 것은 일반적으로 널리 알려져왔다. 이외에도 액체나 분체의 유도대전(전도율이 낮은 물질의 이동시 마찰로 정전기가 발생하여 액체나 분체가 대전됨)현상등의 해석 등에서도 같이 전계의 값이 중요한 변수가 될 경우 사용된다. 정전기 현상의 대표적인 방전현상 및 절연파괴 현상의 해석에도 전계값은 가장 큰 변수로 작용하게 된다. 지금 언급되는 전계란 대부분의 경우 정전계를 지칭하게 된다. 따라서 보통은 정전계 계산이라고 하지 않고 그냥 전계 계산이라고 한다. 여러 문헌을 뒤지게 되면 이 두 가지 용어가 혼용되는 것을 독자들은 쉽게 찾을 수 있을 것이다.^{1, 2)} 본고에서 나오는 전계 계산이란 용어는 모두 정전계 계산과 동일한 의미로 보면 되고 여기에는 상용주파수 교류장의 해석도 포함된다.

위에서 언급한 전계 계산법의 실제응용은 고전압기기의 절연설계를 위하여 개발되기 시작했다. 해석하고자 하는 場(field)은 라플라스(Laplace) 방정식($\nabla^2\phi = 0$)이나 포아송(Poisson) 방정식($\nabla^2\phi = \rho/\epsilon$)의 두 가지 중 하나의 방정식을 만족하게 된다. 전자와 후자는 차이는 해석하고자 하는 場의 공간전하(Space Charge)의 존재여

부에 따라 나뉘는데 후자는 전하밀도(ρ)가 존재할 경우에 사용된다. 여기서 어느 場의 전계해석이라 함은 우리가 해석하고자하는 특정 공간에서 성립하는 방정식의 해를 구하는 문제가 되고 이는 바로 편미분방정식을 푸는 문제로 귀결된다. 전자계산기가 존재하기 전의 모든 전계계산은 주로 엔지니어의 수계산(手計算)에 의존하였는데 이들 편미분방정식을 풀기 위하여 변수분리법, 복소변수를 사용하는 등각사상법, 라플라스 변환법과 같은 해석적 방법 이외에도 그래프법과 약간의 실험적인 방법도 사용되었다.³⁾ 그림 1은 도식법을 사용한 예로서 선배 엔지니어들의 인내와 끈기를 엿볼 수 있다.

위에 열거된 방법들은 해석하고자 하는 장의 종류가 회전대칭성이 유지된 3차원장 이나 2차원장 혹은 단일 매질장의 경우에만 해가 존재하는 제약 조건을 갖는다. 따라서 여러 가지 유전체가 포함되어 있거나 일반 3차원장의 복잡한 형상의 경우에는 도저히 수계산으로는 해를 찾을 수가 없다. (물결은 회전대칭 3차원장이며 여기에 손잡이가 붙게 되는 일반 3차원장이 된다.) 이러한 제약조건은 전자계산기의 발달로 해결되게 되며 본고에서는 전자계산기를 사용하는 수치전계해석법의 일반에 대하여 논하고자 한다.

2. 기본 개념 및 용어

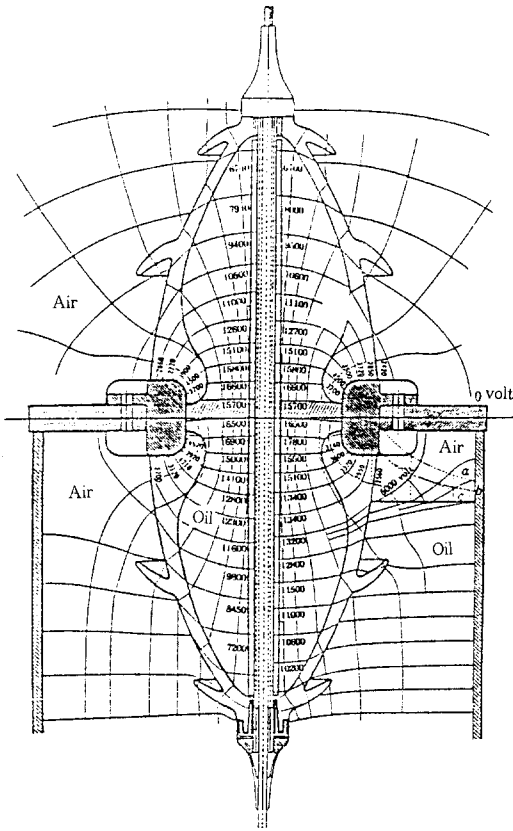


그림 1. 변압기 부싱에서의 전위 분포

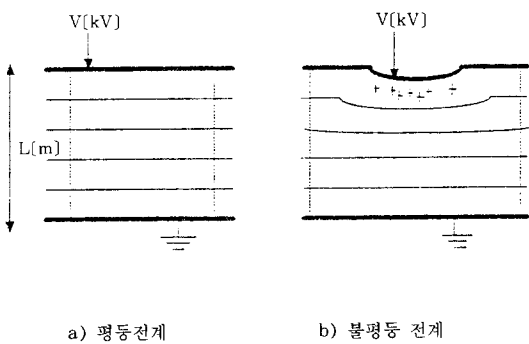


그림 2. 장의 종류 및 경계 조건

그림 2는 대전된 무한 평판 콘덴서의 모델이다. 여기서 전계 해석이 필요한 경우가 두 평판 사이에 실선과 점선의 경계로 이루어진 사각공간이라 하자. 그림 a)의 경우 윗판은 $V(\text{kV})$ 로 대전

되었으며 아래판은 접지되어 $0(\text{kV})$ 를 유지하고 있다. 점선의 경계에서 이의 수직방향으로의 전압은 변하지 않음을 알 수 있다. 여기서 해석하고자 하는 장의 경계는 두 가지 조건이 존재하는데 이들은 다음과 같다.

- i) Dirichlet 경계조건 $\phi = V$ (경계에서의 전압을 알 경우)
- ii) Neuman 경계조건 $\partial\phi/\partial n = 0$ (경계의 수직 방향으로 전압이 불변할 경우)

그림 2에서 각각의 평판은 $\phi = V$ 및 $\phi = 0$ 인 Dirichlet 경계조건을 만족시키고 점선의 부분은 $\partial\phi/\partial n = 0$ 인 Neuman 경계조건을 만족시킨다. 이들 경계조건을 쉽게 풀어 얘기하자면 미분방정식의 초기조건과 같은 의미가 된다. 이들 경계조건은 해석영역의 결과와 함께 결정되어지며 올바른 경계조건 선택은 문제를 쉽게 풀수있도록 한다. 그림 a)의 경우 전압의 분포는 전자계산기에 의지하지 않아도 직감적으로 나온다. 이들 전압의 분포가 구해지면 전계는 $(E = -\nabla\phi)$ 식을 만족시키며 그림 a)의 경우 전계는 어디서나 $V/l (\text{kV/m})$ 로 주어진다. 이를 평등 전계라고 한다. 그림 b)의 경우 윗판 전극에 돌기가 존재하면 전위분포가 왜곡되고 전계는 돌기 부분에 집중하는 불평등 전계가 된다. 이 경우 전압을 계속 올리면 매질이 기체일 경우 방전이 일어나고 이로 인해 공간 전하가 돌기 부분에 생긴다. 이런 상황하에서는 해석 영역은 두 가지 지배방정식이 존재하게 되는데 공간 전하의 부위는 Poisson방정식이 그 외의 부분은 Laplace방정식이 지배하게 된다. 그림 b) 경우 수치해석할 경우, Neuman 경계조건이 성립하는 경계는 돌기로부터 일정한 거리 이상 좌우로 떨어진 곳으로 등전압선이 평행으로 회복되는 부위이다.

해석하고자 하는 경우가 여러 유전체를 포함할 경우가 있다. 이런 경우를 다매질장이라고 하며 이 경우는 어떤 수치해석방법을 사용하느냐의 따라 그 처리가 다르게 된다.

3. 수치전계 계산법⁴⁾

일반적으로 수치해석법이라고 하면 유한요소

법, 경계요소법등이 알려져 있으며, 이중 특히 유한요소법은 공학의 여러분야에서 범용적으로 쓰이는 가장 강력한 도구 임에는 틀림이 없다. 하지만 전계계산의 경우에는 다른 계산법도 유용하게 쓰인다. 수치전계계산법은 그 계산 영역의 분할 방법에 따라 영역분할법과 경계분할법으로 나뉘게 된다. 그림 3은 이 두 방법의 차이를 보여 준다.

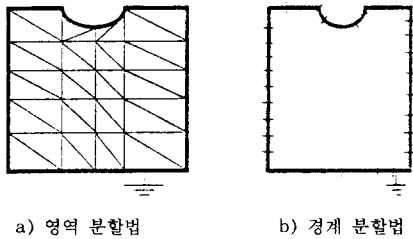


그림 3. 영역의 분할방법

그림 a)의 경우 해석하고자 하는 영역을 삼각형이나 사각형으로 분할하여 각 절점을 미지수로 놓고 계산하게 된다. 이를 영역분할법이라 하는 것에 반하여 그림 b)의 경우는 해석장의 경계에 미지의 가상전하를 배치하는 경우로 이를 경계분할법이라 한다. 이때 P(x,y)점의 전압과 전계는 이들 미지 가상전하의 적분식에서 구하게 된다. 아래표는 수치 전계계산법의 분류와 종류이다.

영역분할법	┌ 유한요소법 └ 차분법
경계분할법	

표 1. 각종 수치 전계계산법

영역분할법과 경계분할법의 특징 및 이들의 장 단점은 아래와 같다.

- 1) 그림 3에서 a)의 분할 수는 면적에 비례하고 b)의 분할 수는 길이에 비례하게 된다. 따라서 영역분할법은 경계분할법에 비해 분할 수가 한 차원(Dimension)이 높다. 이는 영역분할법이 미지수의 개수가 한 차원 높다는 것을 의미한다.
- 2) 영역분할법은 전위를 구한 후 전계를 구하

게 되어 직접구하는 경계분할법에 비하여 전계오차가 크다.

3) 경계분할법은 경계부분에서의 해를 구할 경우에는 특이점 적분을 포함하고 있어 특별한 알고리즘의 처리를 요한다.

4) 경계분할법은 다매질장을 해석할 경우 그 경계면에서의 경계조건 처리가 영역분할법에 비하여 까다롭다.

5) 해석영역의 경계가 무한원까지 달한 경우에는 이를 開영역문제(Open boundary condition)라고 하며 이런 경우에는 경계분할법의 사용이 유리하다. 즉 송배전 시스템과 같이 경계가 하늘로 열려있는 경우에는 경계분할법이 유리하다.

6) 전동기와 같이 경계가 닫혀있고 매질이 많고 형상이 복잡할 경우에는 영역분할법이 유리하다.

위와같이 해석하고자 하는 場의 종류에 따라 다른 해석방법을 쓰는 것이 보통이며 가끔 이 양자를 혼합한 혼합법이 사용되기도 한다.

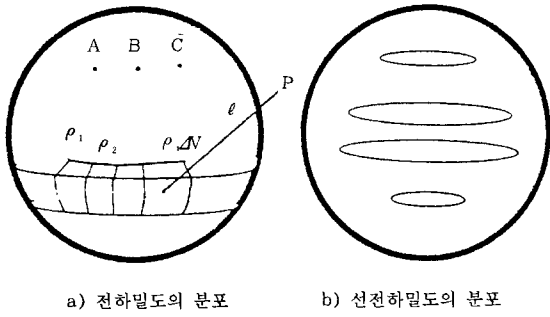
4. 전하 중첩법(Charge Simulation Method)

전하중첩법은 경계분할법의 일종으로 원리가 간단하여 프로그램이 용이하며 높은 정밀도와 계산 시간이 짧다는 장점이 있다. 전하중첩법은 1969년 서독에서 Steinbigler에 의하여 처음 제안 되었다.⁵⁾ 본고에서는 수치 전계계산법에 쉽게 접근하기 위하여 복잡한 수식의 증명은 빼고 간단한 모델의 예를 들어 원리를 설명하고자 한다. 아래 식은 전하밀도에 의하여 전압을 구하는 식으로 전자기 교과서의 앞부분에 늘상 나오는 낙익은 식이다.

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho dV}{\ell} \tag{1}$$

- ϕ : 전압[V]
- ρ : 전하밀도[C/m³]
- ℓ : ρ 이 Ω 에서 전압을 구하고자 하는 점간의 거리

$$\phi = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho_i \Delta V}{\ell} \tag{2}$$



a) 전하밀도의 분포 b) 선전하밀도의 분포

그림 4. 전하중첩법의 가상전하 모델링

그림 4에서 각 $\rho_i \Delta V$ 에 의하여 점 P에 유기되는 전압 ϕ 는 식(2)와 같이 쓰여진다.

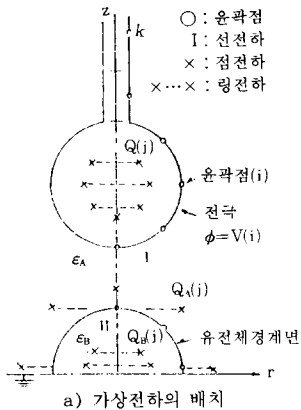
이 때 그림 a)가 도체 구의 표면에 전압 ϕ 가 인가된 경우라고 하면 각 $\rho_i \Delta V$ 는 도체의

표면에만 존재하게 되며 이들에 의하여 점 A에 전압 ϕ 가 유기되도록 각 $\rho_i \Delta V$ 는 분포된다. 실제 전하중첩법에서는 체적이나 표면 전하밀도 ρ 나 σ 를 사용하지 않고 그림 4에서 나타난 것과 같이 점전하(Point charge), 링전하(Ring charge), 선전하(Line charge)등과 같이 실제 존재하지 않는 특수한 형태의 전하모델을 사용 식 (1)의 적분식이 쉽게 적분되도록 사용한다.

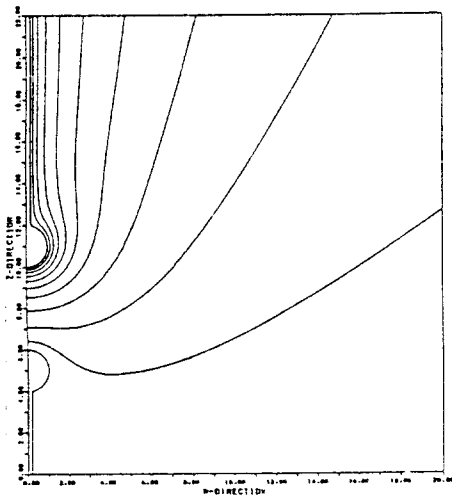
결국 식으로 나타내면 식 (3)과 같이 쓰여지고, 이와 같은 식이 윤곽점 B, C... 등에서 각각 성립하게 되어 결국은 n개의 연립방정식 형태를 띄우게 된다.

$$P_0 \rho_0 + P_1 \rho_1 + \dots + P_i \rho_i + \dots + P_n \rho_n \quad (3)$$

최종식은 식 (3)과 같은 형태의 식들이 모여 연립방정식을 이루게 되며 이를 풀어 경계조건을 만족시키는 미지 전하밀도 ρ_0, \dots, ρ_n 을 구하게 된다. 이때 미지전하의 개수는 윤곽점의 개수와 일치하게 된다. 결국 구한 전하밀도는 앞서 언급한 특수한 형태의 전하모델들의 선전하밀도이다. (점전하의 경우 전하량임). 이들이 구해지면 이들을 사용하여 원하는 점의 전위나 전계를 구한다. 그림 5의 a)는 복합유전체장의 가상 전하배치도이며 b)는 구전극과 접지구전극 사이장을 해석하고 등전위선을 그린 예이다.



a) 가상전하의 배치



b) 계산예

그림 5. 전하중첩법의 사용예

5. 표면전하법(Surface Charge Method)

표면전하법은 경계분할법의 일종으로 전하중첩법과 같은 원리에서 출발한다. 표면전하법은 Harrington에 의하여 제안된 알고리즘으로 Method of Moments 혹은 적분방정식법(Integral Equation Method)등으로 불리우기도 한다.⁶⁾ 그림 6은 도체구에 대한 표면전하법의 가상 전하 모델링이다. 전하중첩법의 가상전하 모델링과 비

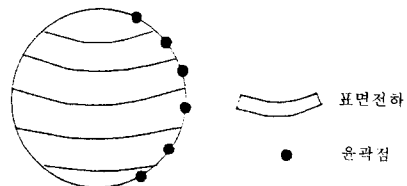


그림 6. 표면전하법의 가상 미지전하 모델링

교하면 면적을 가지고 표면에 존재하는 가상전하 모델이 된다. 대전물체가 도체일 경우에는 이 표면전하는 실제 전하분포와 같은 분포가 되어 물리적으로 실제 현상을 그대로 묘사(simulation)하게 된다.

표면전하법과 앞서 이야기한 전하중첩법에 비하여 다음과 같은 장단점이 있다.

1) 입력데이터 작성이 쉽다. 전하중첩법은 가상전하의 배치에 경험적인 요소들이 작용하나 표면전하법은 대전물체 그 자체가 가상 모의전하면과 일치하게 되어 물체의 위치좌표가 그대로 입력으로 사용된다.

2) 공기콘덴서와 같이 얇은 전극으로 이루어진 물체의 전기계산에서는 가상전하배치가 전하중첩법보다 쉽다.

3) 유전체 경계면에서의 처리가 전하중첩법보다 편리하며 가상전하를 약 반수 정도로 줄일 수 있다.

4) 가상전하가 면적을 갖게되어 적분계산을 행하게 되며 특이점의 처리적분이라는 약점을 갖게되어 계산시간이 길어진다.

5) 일반 3차원 다매질장 모델의 해석에 주로 쓰인다.

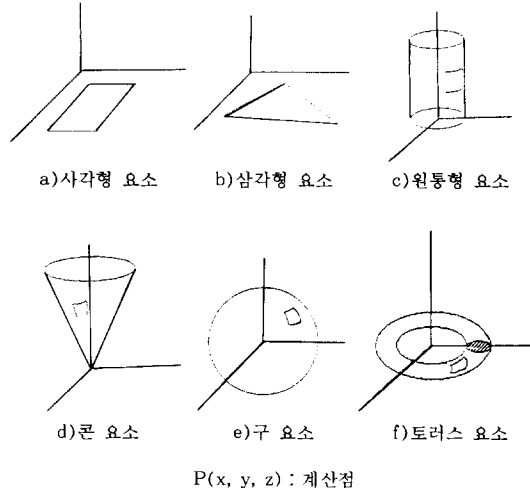
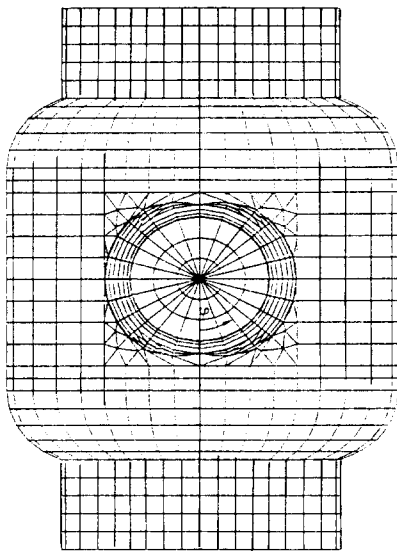


그림 7. 표면전하법에 사용되는 각종 가상전하의 종류

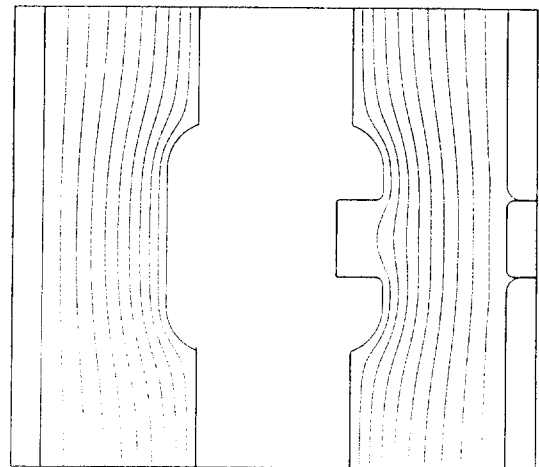
아래 그림 7에는 최근까지 개발된 일반 3차원 해석을 위한 표면전하 모델들이다.⁷⁾

그림 8은 표면전하법에 의한 요소의 분할과 그 계산결과의 한 예이다.

그림 a)는 얼핏 보기에는 유한요소법과 비슷하게 보이나 대전물체의 경계를 분할한 점이 영역분할법인 유한 요소법과 다르다.



a) 가상전하의 배치



b) 계산예

그림 8. 표면전하법의 사용예

6. 유한요소법(Finite Element Method)

유한요소법은 영역분할법에 속하는 만능의 수치계산법으로 구조해석뿐만 아니라 온갖 장의 해석, 편미분 방정식의 해법 등에 많은 공헌을 해왔다. 원리를 간략하게 소개하여보자 아래 그림 9와 같이 대전된 물체사이에 공간을 삼각형요소로 나누고 각 꼭지점에서의 전위 Φ 가 각각의 x, y 의 좌표로 나타난다고 가정하자.

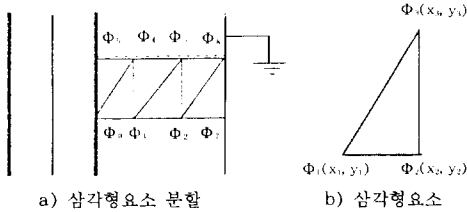


그림 9. 유한요소법 의한 요소분할

여기서 대전된물체와 옆의 접지전극은 Dirichlet 경계조건을 만족시키며 구하는 전위는 $\Phi_1 \sim \Phi_4$ 까지된다. 또 점선으로 그려진 경계는 Neuman 경계조건을 만족시킨다. $\Phi_1 \sim \Phi_3$ 는 다음식과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

여기서 $(a_1, a_2, a_3)^T$ 를 구하면 요소안의 임의점에서의 ϕ 는

$$\phi = a_1 + a_2x + a_3y = (1, x, y) \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (4)에 나타난것과 같이 ϕ 는 (x, y) 및 (Φ_1, Φ_2, Φ_3) 의 함수가 된다. 여기서 정전계의 에너지는 다음과 같은 범함수로 표시되며 장은 이 에너지가 최소가 되게 분포한다.

$$\epsilon = \int \frac{1}{2} E \cdot \{ |\nabla \phi(x, y)|^2 dV \quad (5)$$

식 (5)는 각 요소에 대하여 성립하게 된다. 그림 9의 b)의 요소에서는 다음과 같은 3가지 식이 성립한다.

$$\frac{2E}{2\phi_1} = 0, \quad \frac{2E}{2\phi_2} = 0, \quad \frac{2E}{2\phi_3} = 0$$

이를 연립방정식은 각 요소에서 생성되며 결국은 이들이 모여 최종의 선형연립방정식을 생성한

$$[A] \cdot [\Phi] = [0] \quad (6)$$

$$\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_3, \dots, \Phi_n)^T$$

식 (6)에서 $\Phi_5 \sim \Phi_8$ 까지는 경계조건으로 주어지며 결국 식 (6)을 만족시키는 $\Phi_1 \sim \Phi_4$ 의 값을 찾게 된다. 그림 10은 사일로의 요소분할 및 해석예이다.

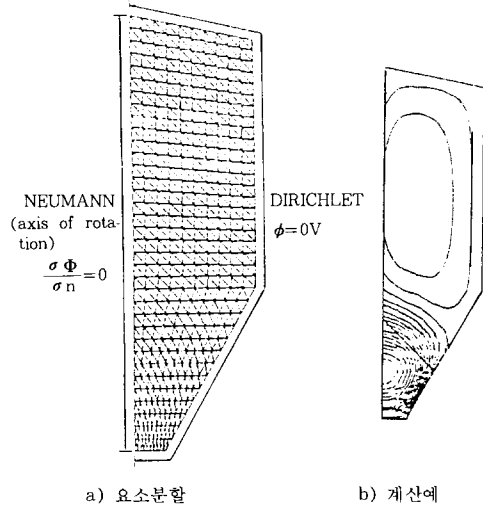


그림 10. 유한요소법에의한 사일로의 전계해석

유한요소법에 사용되는 요소의 종류는 너무나 종류가 많고 어느 책에서나 쉽게 찾을수 있어 생략한다.

7. 차분법(Finite Difference Method)

차분법은 가장 오래된 계산방법으로 19C말에 Boltzman에 의하여 그 원리가 제안되었고, 전계 계산에도 가장 일찍 사용된 방법이다. 하지만 앞서 언급한 여타 수치전계계산법보다 뚜렷한 장점이 없다. 하지만 아직도 여러공학 분야에서 널리 쓰이고 있는 방법임에는 틀림이 없어 간단하게나마 2차원 장의 경우를 예로들어 원리를 설명하고자 한다. 아래식은 점 (x_0, y_0) 근방에서의 전위 Φ 에 대한 Tylor 급수의 2차항 까지의 전개식이다.

$$\begin{aligned} \Phi(x,y) = & \Phi_0 + \left\{ (x-x_0) \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_0 + (y-y_0) \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)_0 \right\} \\ & + \frac{1}{2} \left\{ (x-x_0)^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)_0 + 2(x-x_0)(y-y_0) \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \right)_0 \right. \\ & \left. + (y-y_0)^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right)_0 \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 그림 11에서와 같이, 각 격자점 마다의 간격이 일정하게 되면 Φ_0 점은 주변 $\Phi_1 \sim \Phi_4$ 의 전위를 테일러 급수로 전개하면 다음식이 나온다.

$$\begin{aligned} \Phi_1 = & \Phi_0 + h \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)_0 + \frac{1}{2} h^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right)_0 \\ \Phi_2 = & \Phi_0 - h \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_0 + \frac{1}{2} h^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)_0 \\ \Phi_3 = & \Phi_0 + h \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)_0 + \frac{1}{2} h^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)_0 \\ \Phi_4 = & \Phi_0 - h \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_0 + \frac{1}{2} h^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right)_0 \end{aligned} \quad (8)$$

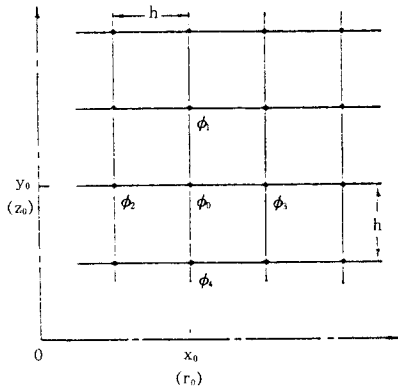


그림 11. 차분법의 영역분할

이 식을 모두 더하면

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 = 4\Phi_0 + h^2 \left\{ \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)_0 + \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right)_0 \right\} \quad (9)$$

식 (9)가 나온다. 여기서 공간전하가 존재하지 않는 장의 경우 라플라스 방정식 $(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0)$ 이 성립하여 위 식은 다음식으로 정리된다.

$$\Phi_0 = \frac{1}{4} (\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4) \quad (10)$$

따라서 각 격자점마다 위식이 하나씩 성립하고 이들이 모여 결국은 하나의 선형연립방정식이 성립되어 이를 풀면 각 점의 전위 Φ_i 가 모두 구하여 진다.

아래 그림은 차단기 내부의 전계분포를 구하기 위해 만들어진 차분요소의 예이다.

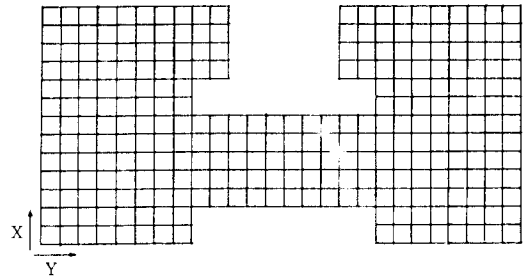


그림 12. 차분법의 적용예

8. 전계최적화(Field Optimization)⁸⁾

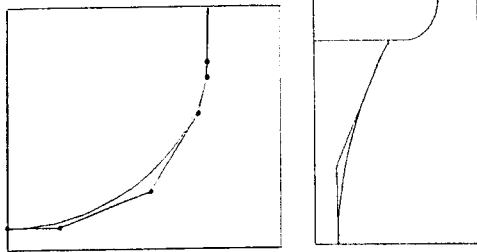
전계최적화란 전계계산의 반대적인 개념이다. 전계계산이란 주어진 형상에서 전계분포를 찾는 일이지만 전계최적화란 주어진 전계분포를 갖는 형상을 찾는 일로서 절연체 및 전극 설계에 매우 중요한 개념이다. 전계계산에서는 모든 방법의 최종 귀결 식은

$$\begin{aligned} [A] [X] &= [B] \\ X : & \text{미지의 전기량} \end{aligned} \quad (11)$$

의 형태로 선형 연립방정식의 해를 구하는 것이나

$$\begin{aligned} [A(X)] [E] &= [B] \\ E : & \text{주어진 전계조건} \end{aligned} \quad (12)$$

전계최적화 경우 위식과 같이 주어진 전계조건을 만족시키는 위치변수 X를 찾는 비선형 연립방정식의 문제로 된다. 따라서 미지의 위치변수 X의 갯수나 앞에서 언급한 수치계산방법중 어느 것으로 전계최적화를 행하는가에 따라 그 알고리즘과 정밀도가 큰 차이가 존재한다. 그림 13의 a)는 표면전하법을 사용한 봉대 평판전극의 봉부위를 균등한 전계분포로 만든 예이고 b)는 대전물체 절연지시물의 연면전계를 균일하게 만든 예이다.



a) 전극최적화 설계 b) 절연체최적화 설계

그림 13. 전계최적화된 전극 및 절연체

9. 결 론

본고는 정전계 계산 방법을 관련분야 종사자에게 되도록 쉽게 개념만을 전달하도록 쓰여졌다. 따라서 복잡한 수학적인 수식이나 중요한 증명 혹은 엄밀한 용어선택을 피하여 기술되었다. 독자중에는 수학적 모델이나 수식의 전개에 너무 많은 부분이 생략되어 있다고 느끼는 분들도 다수 있으리라 사료된다. 본고를 읽고 더 심층적인 문헌 정보를 얻고자 하시는 분은 당학회나 필자에게 연락하여 주시면 언제든지 필요한 정보를 제공하겠으며 이것을 기화로 관련분야의 종사자들이 서로의 지식을 교류할 수 있는 장이 마련되었으면 한다. 앞서 설명한 모든 전계계산법은 거의 완성단계에 이르러 상용화된 패키지(Package)등을 많이 찾을수 있다. 현재로는 좀더 빠른 계산과 높은 정밀도를 요하는 방향으로 논문이 발표되고 있으며 이는 특히 일반 3차원 모델의 경우 계산시간과 정밀도는 매우 큰 문제가 되기 때문이다. 또 하나의 흐름은 최적화 설계문제로 여러 복잡한 이론 및 알고리즘의 연구가 활발히 진행되고 있다.

참 고 문 헌

- 1) 村島定行, "대용전하법과 그의 응용".
- 2) 宅間 董, "고전압대전류공학" (일본전기학회 발행).
- 3) P. Moon, et al., "Field theory for engineers", D. Van Nostrand Company, 1961.
- 4) 河野照哉, "수치전계계산법".
- 5) 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. 1660~1668.
- 6) R. F. Harrington, "Matrix method for field problems", Proc. IEEE, Vol. 55, No. 2, 1967, pp. 136~149.
- 7) F. Gutfleisch, "Berechnung elektrischer felder durch nachbildung der grenschichten mit ausgewäcnelementen".
- 8) 김응식, "NURB 곡면을 이용한 전계최적화".

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 응 식(金應植)

1961년생. 서울대학교 공과대학전기공학과 졸업(공학). 현재 호서대학교 산업안전공학과 조교수.

照明·電氣設備學會誌

Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers

Vol.10, No.6, 1996

— 論文目次 —

Contents

-
- (10-6-1) ● 전시물의 변색 예측을 이용한 박물관 조명기준의 작성
.....金弘範·金 燾·權世燮 · 37
Making Lighting Standard for a Museum using a Prediction of Exhibits' Color ChangeHong-Bum Kim · Hoon Kim · Sae-Hyuk Kwon
- (10-6-2) ● 학교 건축물의 야간 조도분포 분석.....朴東化·成樂晉·申載華·李炳基 · 48
Analysis of a Night Illuminance Distribution in School Buildings
.....Tong-Wha Park · Nak-Jin Seong · Je-Wha Sin · Byung-gi Lee
- (10-6-3) ● 스위칭 소자의 전력 스트레스를 제거하기 위한 BUCK DC-DC 컨버터
.....李成栢·朴眞弘 · 54
BUCK DC-DC Converter to Reduce Power Stress of Switching Device
.....Soung-Baek Lee · Jin-Hong Park
- (10-6-4) ● Lamp형 오존발생기의 試作 및 特性에 관한 연구
.....金相球·宋炫植·姜千秀·朴元柱·李廣植·李東仁 · 62
A Study on the Trial Manufacture and Characteristics of Lamp Type Ozonizer
.....Sang-Ku Kim · Hyun-Jig Song · Cheon-Su Kang · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee
- (10-6-5) ● 4.2MW(600VDC, 7kADC) 직류 펄스 전원장치의 성능분석魯義哲 · 73
Analysis of the performance of a 4.2MW(600VDC, 7kADC) DC Pulsed power supplyEui-Cheol Nho
- (10-6-6) ● 마이크로 콘트롤러를 이용한 SRM구동용 디지털 방식 인버터에 관한 연구
.....安珍雨·金喆禹 · 81
A Study on the Digital Inverter for SRM Drive using Microcontroller
.....Jin-Woo Ahn · Cheul-U Kim
- (10-6-7) ● 電壓差 制御에 의한 超音波 모터의 速度 및 토크 特性
.....金永炯·吳金坤 · 88
Speed and Torque characteristics of Ultrasonic Motor by Voltage difference control.....Young-Dong Kim · Geum-Kon Oh
- (10-6-8) ● SF₆ 가스의 전리 및 부착계수에 관한 연구
.....徐相賢·柳會英·金相南·河聖哲 · 96
A study on the electron ionization and attachment coefficients ins SF₆ gas
.....Sang-Hyeon Seo · Heoi-Young Yu · Sang-Nam Kim · Sung-Chul Ha
-

THE KOREAN INSTITUTE OF ILLUMINATING
AND ELECTRICAL INSTALLATION ENGINEERS
635-4, Yeogsam-Dong, Kangnam-Ku,
Seoul 135-703, KOREA
TEL. (02) 564-8534 ~ 5, FAX. (02) 3453-8041

학 회 지 투 고 규 정

1. 원고의 투고자는 회원에 한한다.
2. 원고는 조명 및 전기설비전분야 논문, 기술 보고, 기술자료, 기술해설, 문헌소개, 기타 학술 및 기술상 기여된다고 인정되는 자료로 한다.
3. 원고는 본 학회지에 투고하기 전에 공개 출판물에 발표되지 않았던 것임을 원칙으로 한다.
4. 원고는 수시로 접수하며 투고원고의 접수일은 그 원고가 학회에 접수된 일자로 한다.
5. 논문투고시 투고원고내용의 해당 전문분야를 기재해야 한다.
6. 원고의 채택여부는 본 학회편수위원회의 심사절차에 따르며 편수위원회는 원고의 부분적 수정, 단축, 보완을 요구할 수 있다.
7. 원고작성은 ① 200자 원고지로 작성시: 행서로 작성하되, 그림, 표를 포함하여 50매내의를 기준으로 한다. ② 타자로 작성시: A4 용지에 한줄씩 띄워서 작성하되, 면당 700자를 기준하며, 그림, 표를 포함한 총면수가 14면을 초과하지 않도록 하며, 뒷면에 페이지를 기입한다.
8. 원고는 국문(한문포함) 또는 영문으로 작성하는 것을 원칙으로 한다. 원고는 본문 중에 사용되는 영어는 소문자를 사용하는 것을 원칙으로 한다.(단, 고유명사, 약자는 제외). 문장의 처음이 영어단어로 시작되는 경우에는 첫자를 대문자로 한다.
9. 원고의 제목, 저자명, 소속기관, 직위를 가급적 한문으로 기입하고, 논문은 초록을 국문과 영문으로 작성하여야 한다. 국문초록은 400자내외, 영문초록은 200단어내외를 기준으로 한다.
10. 그림은 인쇄할 수 있도록 200×250mm크기의 트레이싱 페이퍼 또는 백지에 먹으로 깨끗이 그려야 한다. 그림이 인쇄될 때는 폭이 70mm정도 되도록 축소되므로 축소된 후에 글씨의 높이가 최소 2mm가 되고 선의 굵기가 최소 0.1mm가 되도록 주의하여야 한다. 사진의 최소크기는 65×50mm로 한다.
11. 그림과 표는 그림1, 그림2, 표1, 표2... 등으로 표시하고 본문을 읽지 않고도 이해할 수 있도록 상세한 설명을 첨부하여야 한다. 그림의 제목은 그림밑에, 표의 제목은 표위에 기입하

- 며, 설명문은 국문과 영문으로 병기한다.
12. 그림과 표는 일괄적으로 원고 끝에 별첨하고, 본문 중에는 그 위치만 원고 우측에 표시해야 한다.
 13. 인용 및 참고문헌의 색인번호를 본문의 인용처에 반드시 첨자^(1) 2)로 기입하고, 순서는 반괄호(1), 2), ...)로 다음과 같이 표시한다.
 - 1) 단행본의 경우: 저자명, 책명, 출판사명, 출판년도, 인용페이지.
 - 예1) 1) 홍길동, 전기용용, 문운당, 1987, pp. 56~67.
 - 예2) 2) C. Mead and L. Conway, Introduction to VLSI Systems, Addison-Wesley, 1980, pp. 145~188.
 - 2) 논문의 경우: 저자명, 제목, 잡지명, 권, 호, 인용페이지, 출판년도.
 - 예1) 1) 김훈, "고광도 방전등의 아아크 특성에 대한 이론적 고찰", 조명·전기설비학회지, 제4권2호, pp. 117~124, 1990.6.
 - 예2) 2) J. J. Lowke, et al., "Theoretical description of ac arcs in Mercury and Argon", Journal of Applied Physics, Vol. 46, No.2, pp. 650~660, 1975.
 14. 논문원고의 모든 단위는 M. K. S. 단위로 하는 것을 원칙으로 한다.
 15. 논문은 논문게재신청서 4부(학회지양식참조), 원고 4부를 작성제출하여야 한다.
 16. 투고규정에 위배된 원고는 접수하지 않는다.
 17. 다음의 경우에는 투고자가 그 실비를 부담하여야 한다.
 - 1) 아-트지에 사진판을 게재하는 경우
 - 2) 불결한 그림을 정정 또는 정서하는 경우
 - 3) 별책을 필요로 하는 경우에는 처음 20부를 증명하고, 그 이상을 필요로 하는 경우
 - 4) 저자의 착오로 편집상 손실이 생긴 경우
 18. 논문의 경우에는 심사료를 투고자가 접수시 납부하고, 채택된 논문은 게재료를 투고자가 부담한다.
 19. 채택된 원고의 저자는 사진 1매와 저자소개서를 제출하여야 한다.
 20. 원고 및 편집에 관한 모든 연락은 본 학회내 편수위원회로 한다.