

표면접촉요소에 의한 정전용량의 해석

논문
12-11-14

A Capacitance Analysis by Using Surface-Contacted Element

박필용*, 최승길*, 강형부**

(Pil-Yong Park*, Seung-Kil Choi*, Hyung-Bu Kang**)

Abstract

In this paper, a new method for calculating capacitance in arbitrarily shape structure is presented. This new approach based on divergence theorem or Gauss's law is achieved by Surface-Contacted Element(SCE) for Gaussian surface. To evaluate accurate capacitance value in nonuniform electric field in two dimensional analysis, the interpolation using the elements which contact one node (PE : Point-Element) or two node (FE : Face-Element) with surface is employed. Because the elements contacted with surface are very small compared with total elements in analytic model, SCE method has shorter computing time to calculate capacitance comparing to existing FEM method which use total elements. This proposed method is verified by comparing the simulated results with values obtained by analytic method.

Key Words(중요용어) : FEM(유한요소법), SCE(Surface-Contacted Element) method(표면접촉요소법), PE(Point-Element), FE(Face-Element), Gauss's law(가우스 법칙), Charge distribution(전하량 분포)

1. 서 론

선로정수 평행을 위한 송전선로의 배치, 전력시스템의 전위 계측을 위한 정전형 변압기의 전극설계에서 다양한 제품의 회로기판 설계에 이르기까지 도체상호간 또는 도체와 대지간의 정전용량 계산은 전기전자공학 분야에서 중요한 비중을 차지하고 있다. 평판대 평판, 동축 원통형, 구형 전극구조와 같이 간단한 전극계에서의 정전용량은 이미 제시되어 있는 수식에 의해 쉽게 계산할 수 있으나, 비대칭의 복잡한 형상의 전극 구조를 가진 시스템에서 정전용량은 기본 수식에 의한 계산이 불가능하여 전하 중첩법, 표면 전하법, 경계요소법 및 유한요소법 같은 컴퓨터를 이용한

수치해석이 주로 활용되고 있다. 그러나 전하중첩법과 표면전하법은 복잡한 전극형상에 대한 적용이 쉽지 않고 가중전하 배치에 대해 어느 정도 전문지식이 있어야 올바른 해석값을 얻을 수 있으며, 경계요소법의 경우 다양한 전극 형태에 대해 적절한 Green function을 설정하기 곤란하다는 단점을 가지고 있다 [1, 2]. 또한 기존의 유한 요소법을 이용한 정전용량의 계산은 비교적 해석 결과는 신뢰성이 있으나, 해석 기법상 에너지 함수를 이용함으로써 모델 전 영역의 요소들이 계산에 필요하게 되어 해석시간이 길어지는 단점을 가지고 있다[3, 4, 5]. 이에 본 연구에서는 임의의 전극형상에 대한 새로운 정전용량 해석 방법을 제시, 검증하였다. 본 방법은 유한 요소법을 기반으로 가우스 법칙을 병용 사용한 것으로, 기존의 방법이 정전용량의 계산을 위해 해석 모델내의 전 미세 요소를 이용하는데 반하여 전극 표면에 접한 요소만을 이용함으로써 계산 시간의 단축이 가능하며, 또한 유한 요소 해석기법을 병용함으로써 임의 형상의 복잡한 전극 구조에 대해서도 쉽게 적용 가능하다. 가우스 법칙을 이용한 정전용량 계산은 유한차분법에서 사용되고 있지만 계산 결과값에 대한 정확도가 떨어지고

* : 한양대학교 공대 전기공학과

** : 한양대학교 공대 전자전기공학부

(서울특별시 성동구 행당동 17, Fax : 02-2297-1569 E-mail : hdragon@turbomail.net)

1999년 7월 15일 접수, 1999년 10월 29일 심사완료

<'99 춘계학술대회에서 추천된 논문임>

있어서 실제로는 이용을 하고 있지 않으며 유한요소법에서도 가우스 법칙을 이용한 유사한 방법이 있다고는 하지만[1] 아직까지 본 논문에서처럼 표면접촉 요소에 의한 방식 및 이론식 유도와 불평등 전계에서의 계산보정에 대한 유사한 이론을 국내외논문 및 관련서적에서 찾아볼 수가 없었다. 본 논문에서는 평판 대 평판, 동축 원통 및 구형 전극구조에 본 기법을 적용하여 해석된 결과값을 수식에 의한 값 및 기존의 FEM방식인 전요소 에너지 합을 이용한 결과와 비교하여 본 이론에 대한 타당성을 검증하였으며, 불평등 전계값을 갖는 복잡한 전극 형상을 해석하여 기존의 방법에 의한 결과와 비교함으로써 본 연구에서 제시한 해석 기법의 타당성을 확인하였다.

2. 기본이론 및 해석방법

정전계에서의 지배방정식은 Maxwell 방정식으로 부터 전기 스칼라 포텐셜 ϕ 를 계변수로 하는 식(1)과 같은 Laplace 방정식으로 주어진다.

$$\epsilon \left\{ \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right\} = 0 \tag{1}$$

ϕ 에 대해 시험함수를 사용하여 Galerkin Method를 적용하여 식(1)을 정식화 시키면 식(2)와 같은 계방정식을 구성할 수 있다[6, 7].

$$[K] \{ \phi \} = \{ 0 \} \tag{2}$$

여기서, $[K]$ 는 계수행렬이다.

정전계 지배 방정식의 해를 구하기 위한 해석 영역의 경계 조건은 일반적으로 식(3) 및 식(4)와 같이 주어진다.

$$\phi = \phi_i \tag{3}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \tag{4}$$

여기서, ϕ_i 는 전원 또는 접지 전위값을 갖는 고정 경계조건. 식(4)는 자연 경계조건을 나타낸다.

식(2)와 같은 행렬 방정식에 경계조건을 부여하여 수치 해석하면 각 요소 절점에서의 전위값을 구할 수 있으며, $E = -\nabla \phi$ 의 관계식에 의해 각 미세 요소내의 전계값을 계산할 수 있다.

입의 폐곡면 S 내부의 전하량을 Q 라 하고, 폐곡면 S 상의 전계를 E 라 하면 식 (5)과 같은 가우스 법칙이 성립한다.

$$\int_S E \cdot dS = \frac{1}{\epsilon} \int_V dq = \frac{Q}{\epsilon} \tag{5}$$

따라서, 입의 전극형상 주위에 대해 폐곡면을 취해 식(5)를 계산하면 전극표면에 존재하는 전하량 Q 를 계산할 수가 있다. 전극 주위에 대한 폐곡면을 생성된 요소중에서 전극에 접촉된 요소들로 구성하여 각 요소들에 대한 $E_i \cdot S_i$ 를 계산하여 합을 구하면 전극표면의 Q 는 다음 식과 같이 근사적으로 구할 수 있다.

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \epsilon \sum_{i=1}^n E_i \cdot S_i \tag{6}$$

여기서, n , Q_i , E_i , S_i 는 각각 전극표면을 둘러싼 표면접촉요소의 개수, 전하량, 전계 및 표면적이다. 전하량 Q 가 구해지면 커패시터형 전극 구조에서의 정전용량 C 는 $Q=CV$ 의 관계식에 의해 쉽게 구해진다.

3. 표면접촉요소(SCE)에 의한 전극표면 전하량 및 정전용량 계산

그림 1과 같이 전극주위를 둘러싸고 있는 요소들은 크게 1개의 절점이 전극에 접촉되어 있는 요소(PE : Point-Element)와 두 점이 전극에 접촉되어 있는 요소(FE : Face-Element)의 2종류로 나눌 수 있다.

그림 1. PE 및 FE의 정의
Fig. 1. Definition of PE and FE

평판 대 평판전극과 같이 비교적 균일한 전위분포를 갖는 전극계에서의 표면 전하량은 PE 또는 FE중 하나만 이용해도 비교적 쉽게 계산이 가능하지만 동축 원통형, 구 대 구전극 및 침대 평판 전극과 같이 불평등전계일 때는 PE나 FE 두 가지중 하나를 사용하면 수치 해석시 상당히 큰 해석 오차가 발생한다.

그림 2는 불평등 전계모델중 하나인 침대 평판 전극에서 FEM에 의해 전 요소의 전위를 구하고 그 중 침 부분의 등전위분포와 표면접촉요소를 발체하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 침의 끝 부근의 PE와

FE 내에서의 전위분포를 살펴보면 PE에서의 전계가 FE에서보다 상대적으로 집중되어 있음을 알 수 있다. 이는 침의 끝 부근에 전하가 집중되기 때문이며, 이러한 경우 FE만으로 전하량을 해석하면 PE와 같이 전계가 집중된 요소에 대한 정보가 해석에 반영되지 않아 실제 전하량보다 작은 값의 전하량을 얻게 된다. 따라서 불평등 전계를 갖는 전극 구조에서의 전하량을 해석할 경우에는 PE와 FE를 동시에 고려한 전하량의 계산보정이 필요하다.

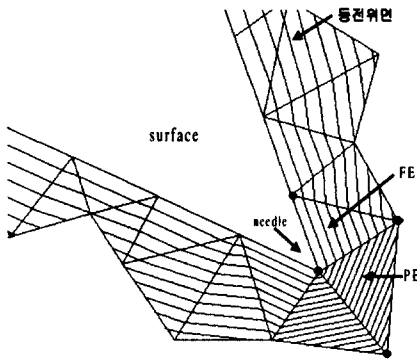


그림 2. 침 전극에서의 전위분포
Fig. 2. Potential distribution at needle electrode

그림 3은 불평등 전계에서 PE와 FE를 이용하여 전극표면 전하량 계산을 보정하기 위해 가우스 표면 S_i 를 재설정하는 것을 나타낸다. 식 (6)에서 S_i 는 $da_{\Delta k}$ 또는 $da_{\nabla k}$ 이지만, 계산보정을 위해서 S_i 를 da_k 또는 da_k^* 로 재설정한다. 여기서, k 는 k 번째 표면접촉요소를 나타내며 침자 ∇, Δ 는 각각 PE, FE를 나타낸다.

그림 3에서 $|E_{\Delta 1}| < |E_{\nabla 1}| < |E_{\Delta 2}|$ 인 불평등 전계라고 가정하고, E 는 임의의 방향이라고 가정하면 $\Delta 1$ 요소 영역에서 $\nabla 1, \Delta 2$ 영역으로 갈수록 전하량이 증가하게 되므로 PE영역 $\Delta 1$ 과 FE영역 $\nabla 1$ 의 경계면 S_{23} 에서는 전계의 불연속에 의해 다음과 같은 식이 성립한다[8].

$$E_{\nabla 1} - E_{\Delta 1} = (\sigma/\epsilon) n_{23} \quad (7)$$

여기서, n_{23} 는 경계면 S_{23} 의 법선벡터이고, $E_{\nabla 1}, E_{\Delta 1}$ 은 PE $\nabla 1$ 과 FE $\Delta 1$ 의 전계이며 σ 는 표면전하

그림 3. 가우스표면 재설정
Fig. 3. Resetting of Gaussian surface

분포의 불균일성에 의한 PE와 FE의 전하정보량 차이에 대한 오차이다. 따라서 $\Delta 1$ 영역과 $\nabla 1$ 영역에서의 전계값의 차이가 클 경우에는 PE의 전계 $E_{\nabla 1}$ 또는 FE의 전계 $E_{\Delta 1}$ 중 한 값만을 가지고 전하량을 계산하면 큰 오차가 발생하게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 전하량 오차를 보정하기 위해 가우스 표면 da_2 의 전하량을 대표할 수 있는 전계 $E_{da_2}^{(0)}$ 을 식(8)과 같이 정의하여 사용하였다[9].

$$\begin{aligned} E_{\Delta 1} &= E_{da_2}^{(0)} - (\sigma/2\epsilon) n_{23} \\ E_{\nabla 1} &= E_{da_2}^{(0)} + (\sigma/2\epsilon) n_{23} \end{aligned} \quad (8)$$

가우스 표면 da_2 에서 식 (8)의 $\pm(\sigma/2\epsilon)n_{23}$ 에 의한 전하량의 오차와 $E_{da_2}^{(0)}$ 에 의한 평균 전하량의 관계를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 Q_{ijk} 는 점 i, j, k 로 구성된 삼각형 영역내의 전하량을 의미하며, Q_{mda_k} 은 가우스 표면 da_k 에서의 보정된 평균 전하량을 의미한다. 그림 4에서 알 수 있듯이 가우스 표면 da_2 에 대해 FE의 전계 $E_{\Delta 1}$ 만을 적용하였을 경우의 전하량 Q_{123} 은 실제 전하량에 비해 작은값을 가지며, PE의 전계 $E_{\nabla 1}$ 을 적용시킨 전하량 Q_{234} 는 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 $E_{da_2}^{(0)}$ 를 적용시킨 Q_{mda_2} 을 실제 전하량의 근사값으로 설정하였다.

식 (8)에 의해서 $E_{da_2}^{(0)}$ 는 다음식(9)와 같이 정의된다.

$$E_{da_2}^{(0)} = 1/2(E_{\Delta 1} + E_{\nabla 1}) \quad (9)$$

$E_{da_2}^{(0)}$ 값을 적용하여 가우스 표면 da_2 에 대해 발산의 정리를 이용하여 전하량을 구하면 다음 식(10)과 같이 되고,

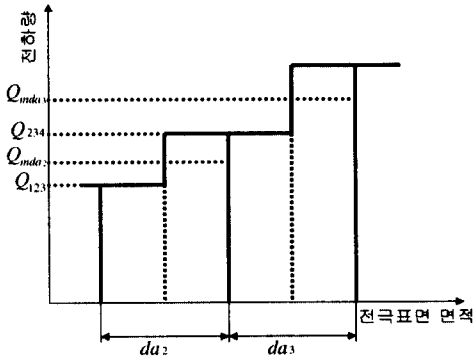


그림 4. 전극표면 전하량 분포
Fig. 4. Surface charge distribution

$$\begin{aligned}
 Q_{da_2} &\approx Q_{mda_2} = \epsilon E_{da_2}^{(0)} \cdot n_{da_2} da_2 \\
 &= \epsilon/2(E_{\Delta 1} + E_{\nabla 1}) \cdot n_{da_2} da_2 \quad (10) \\
 &= \epsilon/2(E_{\Delta 1} \cdot n_{da_2} da_2 + E_{\nabla 1} \cdot n_{da_2} da_2)
 \end{aligned}$$

식 (10)에서 PE 요소의 전하량 계산은 발산정리에 의해 다음과 같이 변형시킬 수 있다.

$$E_{\nabla 1} \cdot n_{da_2} da_2 = E_{\nabla 1} \cdot n_{da_{\nabla 2}} da_2^* \quad (11)$$

전극표면을 n개의 유한영역으로 분할했을 때 각 영역별 전하량 Q_{da_k} 를 식 (10) 및 식 (11)에 의해서 구할 수 있으며, 또한 da_k , da_k^* 는 인접영역의 da_{k+1} , da_{k+1}^* 와 합할 경우 각각의 PE와 FE의 $da_{\nabla k}$, $da_{\Delta k}$ 가 된다는 것을 고려하면 전극표면의 총전하량 Q_{total} 은 다음과 같은 식이 된다.

$$\begin{aligned}
 Q_{total} &= \frac{\epsilon}{2} \sum_{k=1}^{nF} E_{\Delta k} \cdot n_{\Delta k} da_{\Delta k} \\
 &+ \frac{\epsilon}{2} \sum_{k=1}^{nP} E_{\nabla k} \cdot n_{\nabla k} da_{\nabla k} \quad (12)
 \end{aligned}$$

여기서 nP, nF는 각각 전극표면에 접촉한 PE와 FE의 갯수이다.

전극표면의 총 전하량을 식(12)에 의해 구하면 정전용량은 다음식에 의해서 간단히 구할 수 있다.

$$C = Q_{total}/V \quad (13)$$

여기서, V는 인가전압이다.

4. 수치해석 및 고찰

4.1 수치해석 알고리즘

그림 5는 표면접촉요소를 이용한 정전용량을 계산하기 위한 수치해석 알고리즘을 나타낸다. 그림에서 보듯이 해석모델에 대한 요소분할을 실시한 후 전 요소에 대하여 식(2)의 계 방정식과 식(3), (4)의 경계조건을 이용하여 전 요소의 절점에서의 전위값을 구한다. 또한 정전용량계산을 위하여 표면접촉요소를 전 요소에서 발제한 후 표면접촉요소를 구성하는 절점의 전위값을 이미 구한 전 요소의 절점에서 발제한 후 표면접촉요소의 전계를 구하여 식(12)에 의하여 전극의 전하량을 구하고 식(13)에 의하여 정전용량을 구하게 된다.

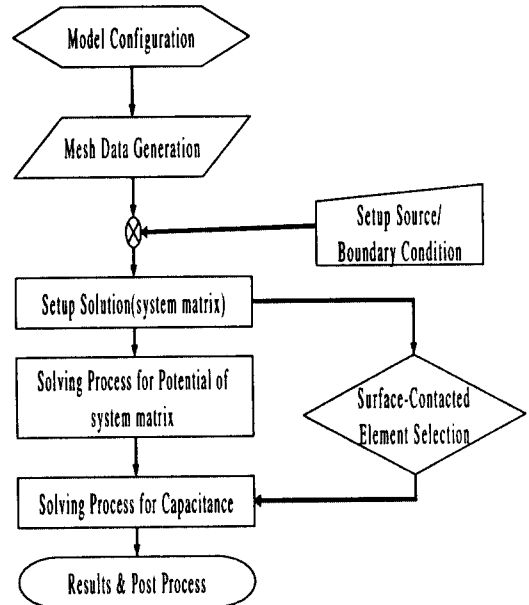


그림 5. 정전용량 계산 알고리즘
Fig. 5. The calculation algorithm of capacitance

4.2 기본구조의 정전용량 해석결과

FEM을 이용한 기존의 정전용량 해석방법은 해석

모델의 전 요소에 대해 아래의 식(14)을 적용하여 정전용량을 계산하는 것으로, 본 연구에서 제안한 방법과 달리 해석시 전 요소를 이용함으로써 해석시간이 길어지는 단점이 있다.

$$W = \int_V \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} dV = \epsilon_0 \sum_{k=1}^n \mathbf{E}_k \cdot \mathbf{E}_k dv_k = \frac{1}{2} CV^2 \quad (14)$$

따라서 본 연구에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 우선 정전용량의 계산식이 주어져 있는 다양한 기본구조의 모델에 대하여 수치 해석된 결과값을 계산에 의한 값 및 기존의 FEM방법에 의한 결과값과 비교하였다. 기본구조의 모델로서 원통형 동축케이블, 동심도체구각으로 구성된 구형 콘덴서, 불균일매질로 구성된 평행평판 콘덴서를 사용하였다. 그림 6은 해석에 이용된 각 모델 및 해석시 사용된 요소분할도를 나타낸 것이며, 각각에 대한 정전용량 계산식은 다음과 같다[10, 11].

$$\text{동축케이블} : C = 2\pi\epsilon_0 / \ln(b-a) [F/m] \quad (15)$$

여기서 a, b, L 은 내측반지름, 외측반지름 및 길이이다.

$$\text{구형콘덴서} : C = 4\pi\epsilon_0 ab / b-a [F] \quad (16)$$

여기서 a, b 는 각각 내부 구 반지름 및 외부 구 반지름이다.

$$\begin{aligned} &\text{불균일매질 평행평판 콘덴서} : \\ &C = \epsilon_0 [(\epsilon_r - 1)x + b] a/d [F] \end{aligned} \quad (17)$$

- (b) 구형콘덴서 모델과 요소분할도
- (b) Spherical type capacitor model and finite elements discretization

- (c) 불균일매질 평행평판 콘덴서와 요소분할도
- (c) Two dielectric slabs of pararell conducting plates and finite elements discretization

그림 6. 간단한 구조의 콘덴서 모델 및 요소 분할
Fig. 6. Simple condenser model and finite elements discretization

여기서 x, b, d, a 는 각각 다른 매질이 차지하는 길이, 평행평판 전체길이, 간격 및 폭 이고, 매질은 각각 공기($\epsilon_r = 1$)와 에폭시($\epsilon_r = 3.89$)이다.

표 1은 수치해석 결과값과 식(15), (16), (17)을 이용한 이론값 및 기존 FEM방식인 에너지의 합을 이용한 식(14)의 값을 비교한 것으로, 본 연구에서 사용한 표면접촉요소에 의한 정전용량해석법에 의한

- (a) 동축케이블 모델과 요소분할도
- (a) Coaxial cylinder model and finite elements discretization

표 1. 해석결과 비교

Table 1. Simulated results comparison

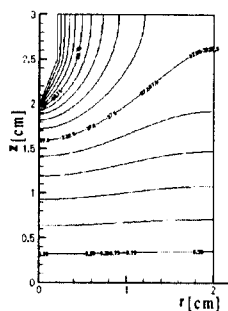
구분	모델	이론값 [pF]	수치해석결과				전 체 요 소 수	표면접촉 요 소 수	
			PE	FE	PE+FE	에너지합		PE	FE
불평등 전 계	동 축 케이블	0.8022	0.8339	0.7658	0.8023	0.8022	3016	91	76
불평등 전 계	구 형 콘덴서	1.3901	1.3673	1.4131	1.3902	1.3901	18231	241	156
평 등 전 계	불균일 매 질 평 행 평 판 콘덴서	0.6049	0.6049	0.6049	0.6049	0.6049	8322	105	99

결과값이 이론값 및 기존의 FEM방식에서 사용한 전 요소의 에너지 합을 이용한 값과 거의 일치함을 볼 수 있다

4.3 불평등 전계에서의 정전용량 해석

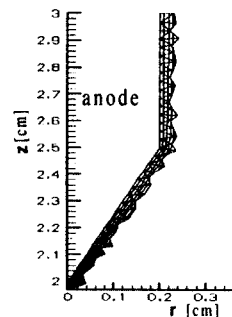
그림 7의 (a), (b), (c)는 각각 대표적 불평등 전

계 전극인 침 대 평판 전극 모델에서의 요소분할도, 등전위 분포도 및 정전용량 해석을 위한 표면 접촉 요소를 나타낸 것이다. 그림 8(a)는 침 대 평판 전극 모델에서 요소수를 증가시키면서 PE요소, FE요소, PE와 FE혼성요소를 사용하여 해석한 정전용량 계산 값을 기존에 사용되던 방법인 전 요소에 대한 에너지를 이용한 해석에 의한 계산값과 비교한 것이며 그림



(a) 해석모델 및 요소분할
(a) Analytical model and finite elements discretization

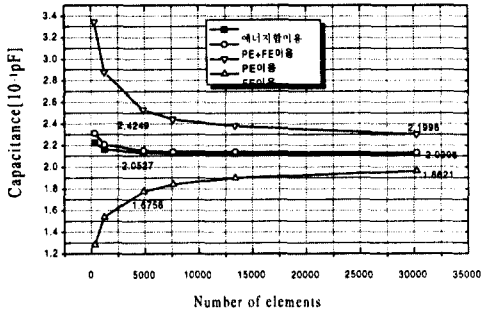
(b) 등전위 분포
(b) Equipotential



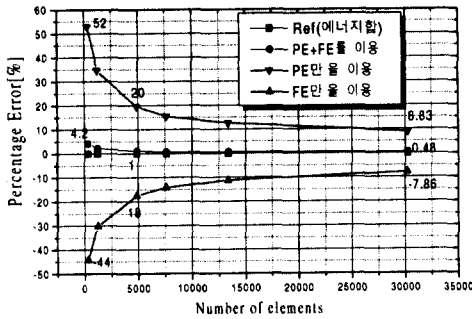
(c) 표면접촉요소 및 등전위면
(c) Surface-contacted distribution elements and equipotential

그림 7. 불평등전계 모델
Fig. 7. Nonuniform electrical field model

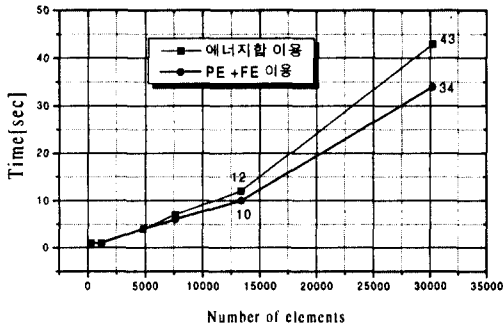
8(b)는 전 요소에 대한 에너지를 이용한 결과값을 기준으로 삼고 각각의 방법에 대한 Percentage error를 나타낸 것이다.



(a) 요소수에 대한 정전용량
(a) Capacitance versus no. of elements



(b) 요소수에 대한 퍼센트 에러
(b) Percentage error versus no. of elements



(c) 요소수에 대한 계산시간
(c) Calculation time versus no. of elements

그림 8. 불평등 전계 모델의 정전용량 해석결과
Fig. 8. Capacitance of nonuniform electrical field model

그림 8의 (a), (b)에서 알 수 있듯이 표면접촉 요소인 PE와 FE를 혼합하여 해석할 경우 각 에너지 합을 이용한 기존의 방법에 의한 결과값과 거의 일치함을 알 수 있다. 반면에 PE 또는 FE 중 하나만을 이용하였을 경우에는 상당히 큰 오차가 발생하며, 요소수를 증가시키더라도 항상 오차가 발생함을 알 수 있었다. 이는 침 대 평판과 같은 불평등전계에서 PE 또는 FE 단독으로는 전극주변의 전계에 대해 완전한 정보를 가지지 못하기 때문으로 생각된다. 또한 그림 8의 (c)는 기존의 FEM방식인 전요소 에너지 합을 이용한 정전용량 계산시간과 본 논문에서 제시한 표면접촉요소를 이용한 정전용량 계산시간을 비교한 것이다. 정전용량 계산에 사용된 컴퓨터 사양은 CPU : Pentium celleron 266MHz, RAM : 64M이다. 그림에서 알 수 있듯이 불평등전계에서 각 요소들의 에너지 합을 이용한 정전용량의 계산에서는 영역의 모든 요소에 대해서 계산을 해야 하지만, 표면접촉요소를 이용할 경우에는 전 영역의 요소수가 30219개일 경우에도 PE와 FE의 갯수는 60개, 51개 밖에 안되므로 매우 적은 수의 요소로도 정전용량을 계산할 수 있어 종전의 방법에 비해 약 27[%]의 계산단축 효과를 볼 수 있었다. 또한 요소수의 증가에 따라 계산시간 단축비율이 증가하는 경향을 보이고 있는 점으로 보아 전극형태가 보다 복잡하여 많은 미세 요소 분할이 필요할 경우 해석 요소수가 더욱 증가하므로 보다 많은 계산시간단축을 볼 것으로 기대된다. 표 1과 그림 8에 나타난 결과로부터 평등 전계를 같은 전극구조에서는 정전용량 해석시 PE 또는 FE중 하나만 적용하여도 올바른 계산값을 얻을 수

그림 9. 복잡한 전극형상에 대한 전위분포
Fig. 9. Equipotential distribution in complex structure

있는 반면에 불평등 전계인 경우에는 PE 와 FE를 혼합 사용하여야만 타당성 있는 결과값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 9는 본 연구에서 제안한 방법에 대한 타당성을 증명하기 위한 해석모델 및 자체개발 프로그램에 의해 해석한 등전위 분포를 나타내고 있다. 상용 FEM해석 프로그램인 MAXWELL에 의해 계산된 정전용량값은 $0.1003[nF]$ 이며 [12], 표면접촉요소를 적용한 수치해석에 의한 정전용량은 $0.1014[nF]$ 으로 거의 일치함을 알 수 있다. 이 때 해석에 사용된 총요소수는 16836개이며, PE 및 FE의 갯수는 각각 303, 278개이다. 위와 같은 사실로부터 본 연구에서 제시한 PE와 FE의 표면 접촉 요소를 혼합 사용한 정전용량 해석 기법은 상당히 복잡한 전극 형상에 대해서도 효과적임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유한요소법과 가우스 법칙을 병용한 새로운 정전용량 해석방법을 제시하여 타당성을 검증하였다. 정전용량을 해석하기 위해 모델의 전 요소물 이용하는 기존의 방법과 달리 본 연구에서 제시한 기법은 해석에 전극 표면과 접촉하고 있는 요소만을 사용함으로써 계산시간을 감소시킬 수 있었다. 또한 불평등 전계를 갖는 전극 구조에서의 정전용량 해석을 위해 PE와 FE를 혼합, 보정함으로써 계산의 신뢰도를 높일 수 있었다. 평등 전계 및 다양한 불평등 전계 모델을 해석하여 본 기법의 타당성을 검증하였으며, 해석 결과 평등 전계 모델의 경우에는 PE 또는 FE요소 중 하나만 이용하여도 타당성 있는 결과를 구할 수 있으나 불평등 전계 모델의 경우에는 PE와 FE의 혼합, 보정이 절대적으로 요구됨을 확인할 수 있었다.

본 기법은 송전선로, 전력 기기 및 전자회로 기관등 복잡한 전극계에 대해서도 전하량 및 정전용량의 정량적 계산이 가능할 것으로 사료되며, 현재 부유도체를 포함한 다중 전극계에 대한 해석 기법으로서의 확대 적용에 대한 연구를 수행하고 있다.

감사의 글

이 논문은 1999년 한양대학교 교내연구비에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

- [1] 河野照哉, 宅間薫, 數値電界計算法, CORONA PUBLISHING CO., LTD, 1980.
- [2] Matthew N. O. Sadiku, Numerica Technique in Electromagnetics, CRC Press, 1992.
- [3] S. Ratnajeevan and H. Hoole, Computer-Aided Analysis and Design of Electromagnetic Devices, Elsevier, 1989.
- [4] Jianming Jin, The Finite Element Methode in Electromagnetics, A Wiley-Interscience Publication, 1993.
- [5] Mauro Feliziani and Francescaromana Maradei, "Capacitance Matrix Caculation of a Wire Conductor Line : A New FEM Approach", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 3, pp. 262-270, 1998.
- [6] 임달호, 전기계의 유한요소법, 동명사, 1986.
- [7] 최승길, 강형부, "진공 인터럽터의 차폐판이 전계 분포에 미치는 영향의 유한요소해석", 전기전 자재료학회논문지 Vol. 12, pp. 182-187, 1999.
- [8] David J. Griffiths, Introduction To Electrodynamics, Prentice Hall, 1989.
- [9] David K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics , Addison Wesley, 1993.
- [10] William H. Hayt, Engineering Electromagnetics, McGraw-Hill, 1989.
- [11] Lim Yung-kuo, Problems and Solutions on Electromagnetism, World Scientific, 1993.
- [12] Larry K. Baxter, Capacitive Sensors : design and application, IEEE PRESS, 1997.