
불균질 매질내에서의 전자파 산란 해석

김태용* · 김석재**

Electromagnetic Scattering Analysis from Inhomogeneous Material Scatterers

Tae Yong Kim* · Seok-Jae Kim**

요 약

본 논문에서는 비 등방성 복합 산란체의 전자파 산란문제를 surface integral equation을 적용하여 정식화하는 절차를 보였다. 산란체에는 평면파가 입사하는 것으로 가정하고, 산란체의 표면에 유기되는 등가 표면 전류 및 자류 밀도를 계산하기 위하여 모멘트법을 이용하여 산란체의 표면을 삼각 요소로 이산화하여 적절한 경계조건하에서 몇 가지 수치계산 모델에 대하여 계산을 수행하고 그 유효성을 검증하였다. 계산된 후방산란단면적의 결과는 측정결과와 잘 일치하였다.

ABSTRACT

The electromagnetic wave scattering problems from inhomogeneous material bodies are considered. The formulation is made in terms of mixed potentials for the moment methods (MoM). The surfaces of a three-dimensional inhomogeneous scatterer of arbitrary shape are divide into triangular patches for discretization. Application of the boundary conditions leads to the coupled surface integral equations to be satisfied for the unknown surface equivalent electric and magnetic currents. The radar cross-section (RCS) for some structures is computed and the results are compared with the reported data.

키워드

모멘트법, 전자파산란, 후방산란단면적, 표면적분방정식

I. 서 론

전자파 방사 및 산란 문제를 다루기 위해서는 물리적으로 합당한 경계조건과 더불어 2계 편미분 방정식을 기초로 한다^[1]. 전자파 방사 및 산란에 관한 경계치 문제에 관해서는 이미 알고 있는 해석적인 함수를 토대로 폐영역에서 간단히 표현될 수 있다. 이러한 해석적인 방법들은 산란체의 형상이 단순하거나 경계조건을 해석적으로 도입할 수 있는 경우에는 유효한 방법이다. 그러나 산란체의 형상이 복잡하거나 불균질 매질내에서의 전자파 산란문제를 다루기 위해서는 위의 해석적인 방법을 이용하기에는 많은 제약이 따른다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 경계요소법

(Boundary Element Method), 유한요소법(Finite Element Method), 시간영역에서의 유한차분법 (FDTD), TLM (Transmission Line Matrix) 법 등 다양한 수치해석 방법들이 고안되어 왔다.

임의의 산란체(target)에 대한 레이더 시스템에서 도체와 유전체 또는 서로 다른 등방성 매질로 구성된 유전체-유전체와 같은 복합 산란체로 부티의 전자파 산란문제를 동정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 임의의 산란체에 대한 전자파 산란문제를 표면적분방정식(Surface integral equation)에 기초한 모멘트법^[2-4]을 이용하여 정식화하고,

*동서대학교 인터넷공학부

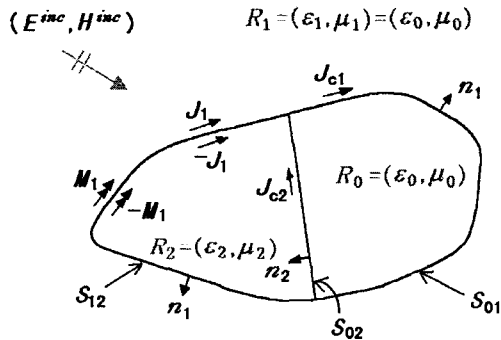
**한국해양수산연수원

수치해석 결과와 다른 문헌과의 비교를 통하여 그 유효성을 검증하였다.

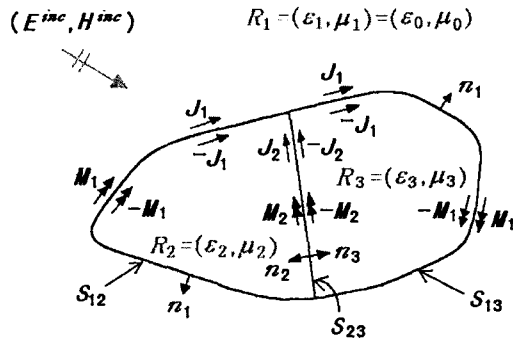
II. 표면 적분 방정식을 이용한 정식화

2.1 산란 문제의 설정

먼저 산란체는 임의의 형상, 3차원 모델로 가정하고, 그림 1에서 나타낸 것과 같이 도체와 유전체 또는 서로 다른 유전율을 가지는 유전체-유전체와 같은 구조를 하고 있는 것으로 가정한다.



(a) conducting-dielectric body



(b) dielectric-dielectric body

그림 1. 전자파 산란 문제의 설정
Fig. 1 Electromagnetic scattering problems

각 영역에서, 특히 영역 R_0 및 R_1 은 각각 도체영역 (conducting region) 및 자유공간(free space)을 의미하고 영역 R_i ($i=2, 3$)는 유전체 영역을 나타낸다. 각 영역은 유전율과 투자율 (ϵ_i, μ_i)로 특성지워지는 것으로 한다. 여기서 각 경

계면(boundary surface) $S_{ij} = R_i \cap R_j$ 는 영역 R_i 과 R_j 사이에서 나타나는 표면 경계로 정의한다. 이 경우 $\partial R = S_{ij}$ ($i \neq j$)이다. 그리고 그림 1에 나타낸 산란체에는 경계면 S_{ij} 에 평면파(plane wave) (E^{inc}, H^{inc})가 입사하는 것으로 가정한다.

일반화를 기하기 위하여 등가 표면 전류 및 자유 밀도는 각 영역의 경계면 $\partial R_i(S_{ij})$ 에서 정의되는 것으로 하여, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J_i = n_i \times H_i |_{\partial R_i}, \quad M_i = -n_i \times E_i |_{\partial R_i} \quad (1)$$
 여기서 수학적 기호를 사용하는데 있어 편리성을 도모하기 위하여 복소 전파상수 γ_i , 파동 임피던스 η_i 및 복소 유전율과 투자율 (ϵ_i, μ_i)은 다음과 같이 표기한다.

$$\begin{aligned} \gamma_i &= jk_i = j\omega(\epsilon_i \mu_i)^{1/2}, \\ \eta_i &= (\mu_i / \epsilon_i)^{1/2}, \\ \epsilon_i &= \epsilon_0 \epsilon_{ri}, \quad \mu_i = \mu_0 \mu_{ri} \end{aligned}$$

2.2 경계조건을 이용한 정식화 과정

각 영역 R_i 에서 주어지는 전 전자계(total electric and magnetic field) (E_i, H_i)는 incident field(E^{inc}, H^{inc})와 scattered field (E^{sc}, H^{sc})와의 중첩으로서 생각할 수 있다. 즉

$$\theta(r) E_i(r) = \delta_i E^{inc} + E_i^{sc} \quad (2)$$

$$\theta(r) H_i(r) = \delta_i H^{inc} + H_i^{sc} \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있으며, 여기서 $\delta_i=1$ 인 경우는 입사파가 영역에 조사되었을 때를 의미하고 그외의 경우는 $\delta_i=0$ 이다. 또한 $\theta(r)$ 은 Heviside function을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$\theta(r) = \begin{cases} 1 & r \text{ in } R_i \\ 1/2 & r \text{ in } S_{ij} \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

그리고 시간에 따른 변화 $e^{j\omega t}$ 를 무시하면, scattered field는 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$E_i^{sc}(r) = -L_{Ei}(J) - K_i(M) \quad (4)$$

$$H_i^{scat}(\mathbf{r}) = -L_{Hi}(\mathbf{M}) + K_i(\mathbf{J}) \quad (5)$$

위 식에서 미적분 연산자 L_{Ei}, L_{Hi}, K_i 는 다음과 같이 주어진다.

$$L_{Ei}(\mathbf{J}) = \int_{\partial R_i} \left(\gamma_i \eta_i \mathbf{J}_i(\mathbf{r}') + \frac{\eta_i}{\gamma_i} \nabla \nabla' \cdot \mathbf{J}_i(\mathbf{r}') \right) G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') ds' \quad (6)$$

$$L_{Hi}(\mathbf{M}) = \int_{\partial R_i} \left(\frac{\gamma_i}{\eta_i} \mathbf{M}_i(\mathbf{r}') + \frac{1}{\gamma_i \eta_i} \nabla \nabla' \cdot \mathbf{M}_i(\mathbf{r}') \right) G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') ds' \quad (7)$$

$$K_i(\mathbf{X}) = \int_{\partial R_i} \mathbf{X}_i(\mathbf{r}') \times \nabla' G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') ds' \quad (8)$$

여기에서 \mathbf{X} 는 전류 및 자유 밀도 (\mathbf{J}, \mathbf{M})가 대입되는 것을 의미한다. 또한 개영역 (open boundary)에서의 그린함수 $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ 는 다음과 같이 주어지고

$$G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{e^{-\gamma_i R}}{4\pi R} \quad (9)$$

그런 함수의 공간 미분은 다음을 만족한다.

$$\nabla' G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{1 + \gamma_i R}{4\pi R^3} e^{-\gamma_i R} \mathbf{R} \quad (10)$$

단, $R = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$ 은 관측점 \mathbf{r} 과 소스 필드 \mathbf{r}' 사이의 거리를 나타낸다.

산란체의 표면에 유기되는 미지의 전류 및 자유 분포는 경계면 $\partial R_i(S_{ij})$ 에서 합당한 경계조건 (boundary conditions)을 만족하여야 하며, 이는 전자계에 대하여 coupled integral equations으로 표현되어 진다. 따라서 유전체의 각 경계면 $S_{ij}(j \neq 0)$ 에서는 다음과 같은 경계조건을 만족하며 각 경계면에서의 접선 성분(tangential components)은 연속성을 유지한다.

$$(\mathbf{n}_i \times \mathbf{E}_i + \mathbf{n}_j \times \mathbf{E}_j)|_{S_{ij}} = 0 \quad (11)$$

$$(\mathbf{n}_i \times \mathbf{H}_i + \mathbf{n}_j \times \mathbf{H}_j)|_{S_{ij}} = 0 \quad (12)$$

마찬가지로, 도체의 경계면 $S_{ij}(i \text{ or } j = 0)$ 에서는 다음 조건을 만족하여야 하며 접선 전계 성분은 무시된다.

$$\mathbf{n}_i \times \mathbf{E}_i |_{S_{ij}} = 0 \quad (13)$$

따라서 식 (2) 와 (3)을 위의 유전체에 대한 경계조건 (11)와 (12)에 대입하면 다음과 같은 전자계 방정식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\left\{ \begin{aligned} &\mathbf{n}_i \times [L_{Ei}(\mathbf{J}) + K_i(\mathbf{M})] + \\ &\mathbf{n}_j \times [L_{Ej}(\mathbf{J}) + K_j(\mathbf{M})] \end{aligned} \right\} |_{S_{ij}} = \delta \mathbf{n}_1 \times \mathbf{E}^{inc} |_{S_{ij}} \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{aligned} &\mathbf{n}_i \times [L_{Hi}(\mathbf{M}) - K_i(\mathbf{J})] + \\ &\mathbf{n}_j \times [L_{Hj}(\mathbf{M}) - K_j(\mathbf{J})] \end{aligned} \right\} |_{S_{ij}} = \delta \mathbf{n}_1 \times \mathbf{H}^{inc} |_{S_{ij}} \quad (15)$$

$$L_{EE} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \times L_{E1}(\mathbf{J}_1)|_{S_{12}} & \mathbf{n}_2 \times L_{E2}(\mathbf{J}_2)|_{S_{12}} & 0 \\ 0 & \mathbf{n}_2 \times L_{E2}(\mathbf{J}_2)|_{S_{23}} & \mathbf{n}_3 \times L_{E3}(\mathbf{J}_3)|_{S_{23}} \\ \mathbf{n}_1 \times L_{E1}(\mathbf{J}_1)|_{S_{13}} & 0 & \mathbf{n}_3 \times L_{E3}(\mathbf{J}_3)|_{S_{13}} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$L_{HH} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \times L_{H1}(\mathbf{M}_1)|_{S_{12}} & \mathbf{n}_2 \times L_{H2}(\mathbf{M}_2)|_{S_{12}} & 0 \\ 0 & \mathbf{n}_2 \times L_{H2}(\mathbf{M}_2)|_{S_{23}} & \mathbf{n}_3 \times L_{H3}(\mathbf{M}_3)|_{S_{23}} \\ \mathbf{n}_1 \times L_{H1}(\mathbf{M}_1)|_{S_{13}} & 0 & \mathbf{n}_3 \times L_{H3}(\mathbf{M}_3)|_{S_{13}} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$K_{EH} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \times K_1(\mathbf{X}_1)|_{S_{12}} & \mathbf{n}_2 \times K_2(\mathbf{X}_2)|_{S_{12}} & 0 \\ 0 & \mathbf{n}_2 \times K_2(\mathbf{X}_2)|_{S_{23}} & \mathbf{n}_3 \times K_3(\mathbf{X}_3)|_{S_{23}} \\ \mathbf{n}_1 \times K_1(\mathbf{X}_1)|_{S_{13}} & 0 & \mathbf{n}_3 \times K_3(\mathbf{X}_3)|_{S_{13}} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$K_{HE} = -K_{EH} \quad (21)$$

그리고 도체의 표면에 대하여 경계조건 (13)식을 적용하면 다음 식을 얻는다.

$$\{ \mathbf{n}_i \times L_{Ei}(\mathbf{J}) |_{S_v} \} = \delta \mathbf{n}_1 \times \mathbf{E}^{inc} |_{S_v} \quad (16)$$

여기서 δ 는 0 또는 1의 값을 가지고 도체의 내부 및 외부 경계면에 의존하게 된다.

결과적으로 위에서 언급한 경계조건을 적용하면 coupled system of integral equation을 얻을 수 있고, 다음과 같이 행렬 표현으로 간단하게 기술할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} L_{EE} & K_{EH} \\ K_{HE} & L_{HH} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{J} \\ \mathbf{M} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{E}^{inc} \\ \mathbf{H}^{inc} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

여기에서 행렬의 각 요소행렬은 적절한 연산자 L_{Ei}, L_{Hi}, K_i 들의 조합으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 그림 1. (b)에서 처럼 유전체-유전체로 구성된 복합 산란체에 대하여 각 요소 행렬들은 식 (18)-(21)과 같이 주어진다.

III. 모멘트법을 이용한 이산화

식 (17)에서 주어진 미지의 전류분포 (unknown currents)는 산란체의 경계 표면상에서 유한계열의 기저함수 (basis function)으로 근사시킬 수 있다. 따라서 평면 삼각요소 (triangular patch)로 분할된 각 경계면 ∂R_i 에서의 표면전류 분포는 다음과 같이 선형결합으로 근사시킬 수 있다.

$$\mathbf{J}_i = \sum_n \mathbf{J}_{ni} f_{ni}, \quad \mathbf{M}_i = \sum_n \mathbf{M}_{ni} f_{ni} \quad (22)$$

여기에서 \mathbf{J}_{ni} 과 \mathbf{M}_{ni} 는 해석적으로 알고 있는 기저함수의 미지계수(unknown)이다. 기저함수 f_{ni} 는 그림 2에서 보는 바와 같이 공통 edge l_n 을 서로 공유하는 삼각 요소 T_n^+ 과 T_n^- 의 쌍으로 표현할 수 있다^{[2],[4]}. 즉 기저함수 f_{ni} 는

$$f_{ni} = \frac{l_n}{2A_n^\pm} \rho_{ni} \text{ for } \mathbf{r} \text{ on } T_n^\pm \quad (23)$$

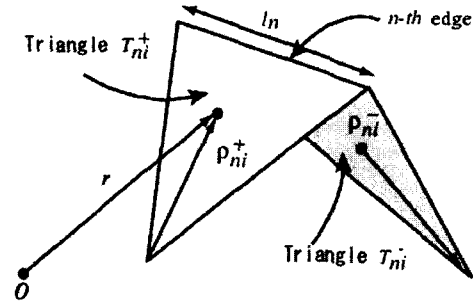


그림 2. 삼각요소와 위치 벡터
Fig. 2 Triangular patch and position vector

으로 나타낼 수 있고, A_n^\pm 는 각 삼각 요소의 면적, ρ_{ni}^\pm 는 각 삼각 요소의 위치 벡터를 의미한다. 식 (17)에 주어진 미지의 전류분포에 대하여 기저함수 (23)을 적용하여 확장하고, 식 (17)의 양변에 기저함수와 동일한 가중함수 $\mathbf{W}_m(\mathbf{r}) = f_{mi}$ 를 이용하여 내적을 취하면 다음과 같은 선형 행렬방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Z_{EE} & Z_{EH} \\ Z_{HE} & Z_{HH} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{J} \\ \mathbf{M} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_E \\ V_H \end{Bmatrix} \quad (24)$$

따라서 위 식에서의 행렬 요소들은 각 영역 R_i 에 대하여 가중함수 $\mathbf{W}_m(\mathbf{r})$ 과 미적분 연산자들과의 내적으로 표현할 수 있고, 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{EE} = \int_{S_v} \mathbf{W}_m(\mathbf{r}) \cdot L_{Ei}(\mathbf{J}) |_{S_v} ds \quad (25)$$

$$Z_{HH} = \int_{S_v} \mathbf{W}_m(\mathbf{r}) \cdot L_{Hi}(\mathbf{M}) |_{S_v} ds \quad (26)$$

$$Z_{EH} = \int_{S_v} \mathbf{W}_m(\mathbf{r}) \cdot K_i(\mathbf{X}) |_{S_v} ds = -Z_{HE} \quad (27)$$

그러므로 식 (24)의 선형 행렬방정식을 계산하여 다음과 같은 기치의 전류 및 자류 분포가 얻어지고, 이를 이용하여 산란체의 산란 패턴을 계산하는데 이용할 수 있다.

$$\mathbf{J} = \{J_1 \ J_2 \ J_3\}^T, \quad \mathbf{M} = \{M_1 \ M_2 \ M_3\}^T \quad (28)$$

여기에서 식 (24)에서 우변의 열 벡터의 요소는 다음과 같이 계산된다.

$$V_E = \int_{S_i} \mathbf{W}_m(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{E}^{inc} ds \quad (29)$$

$$V_H = \int_{S_i} \mathbf{W}_m(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{H}^{inc} ds \quad (30)$$

위 식을 계산하기 위해, 산란체에 입사각 (θ_i, ψ_i)으로 평면파가 수직입사 ($\theta\theta$ -polarized case) 하는 경우는 다음과 같이 계산하였다.

$$\mathbf{E}^{inc} = \mathbf{u}_\theta e^{-j\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}}$$

$$\mathbf{H}^{inc} = -\frac{1}{\eta} \mathbf{u}_\phi e^{-j\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}}$$

마찬가지로, 수평편파 ($\psi\psi$ -polarized case)인 경우에는 아래의 식을 이용하였다.

$$\mathbf{E}^{inc} = \mathbf{u}_\phi e^{-j\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}}, \quad \mathbf{H}^{inc} = \frac{1}{\eta} \mathbf{u}_\theta e^{-j\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}}$$

또한 위 식에 주어진 편파 단위벡터와 전파벡터는 각각 다음 식으로 가정하여 계산하였다.

$$\mathbf{u}_\theta = (\cos \theta_i, 0, -\sin \theta_i)$$

$$\mathbf{u}_\phi = (0, 1, 0)$$

$$\mathbf{k} = -(\sin \theta_i \cos \psi_i, \sin \theta_i \sin \psi_i, \cos \theta_i)$$

IV. Numerical examples

앞에서 논의된 정식화틀 토대로 축대칭 복합 유전체의 후방산란단면적(RCS)을 계산하였다. 계산 모델은 그림 3에 나타난 것과 같이, 영역 R_2 , R_3 로 구성된 복합 유전체에 평면파가 입사하는 것으로 하였다.

먼저, 그림 3에서 나타난 수치계산 모델에 대하여 산란체의 상층부는 도체, 하층부는 유전체 (plexiglass)와 같은 복합 산란체로 가정하고, 매질 정수는 ($\epsilon_{r2}=2.6, \mu_{r2}=1.0$), ($\epsilon_{r3}=1.0, \mu_{r3}=1.0$)으로 하였다. 또한 관심 주파수 3 GHz에 대하여 산란체의 물리적 길이는 각각 $a=0.508\lambda_0, b=2a$,

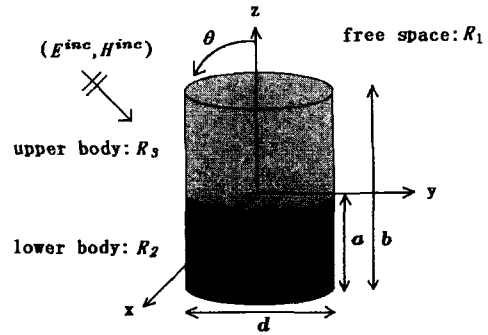


그림 3. 수치계산 모델
Fig. 3 Numerical model

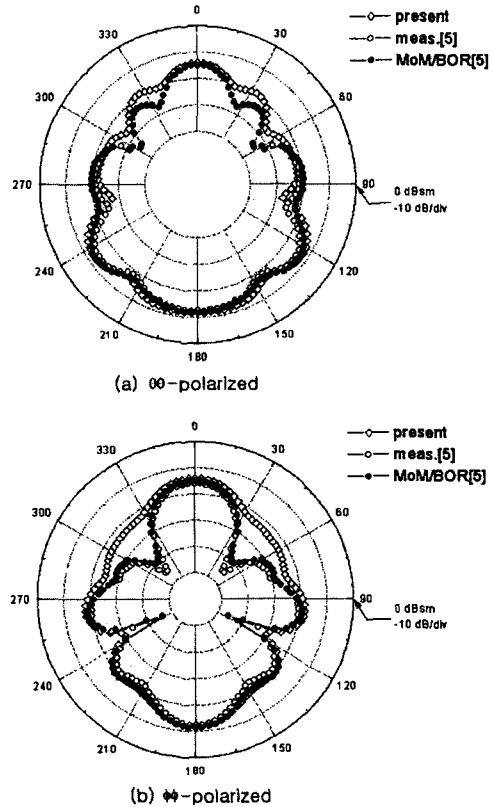
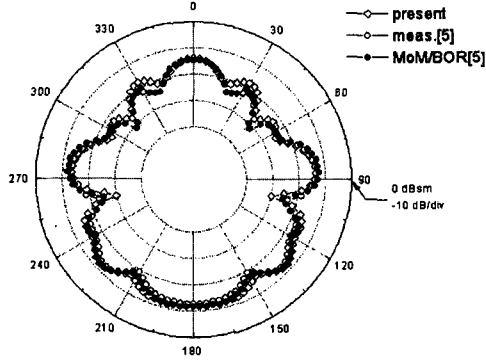
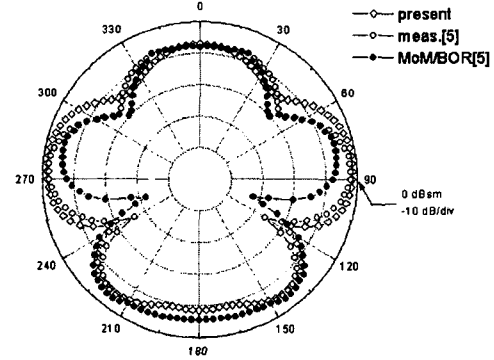


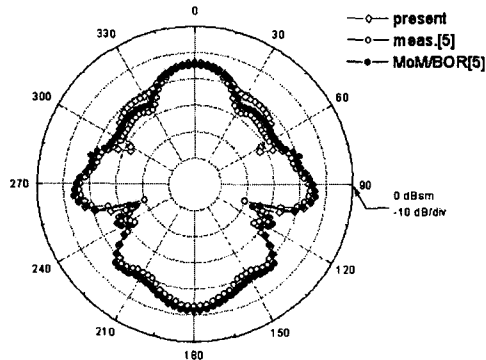
그림 4. 도체와 유전체로 구성된 복합산란체에 대한 RCS 계산 ($a=0.508\lambda_0, b=2a, d=0.762\lambda_0$)
Fig. 4 Computed RCS for conducting-dielectric cylinder ($a=0.508\lambda_0, b=2a, d=0.762\lambda_0$)



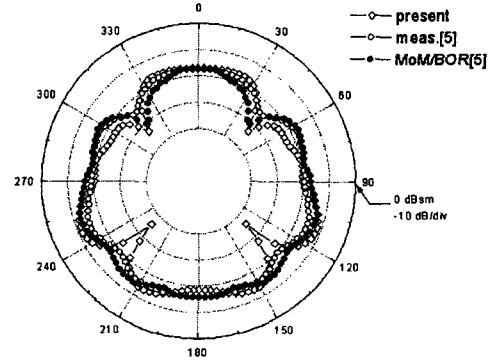
(a) $\theta\theta$ -polarized



(a) $\theta\theta$ -polarized



(b) $\phi\phi$ -polarized



(b) $\phi\phi$ -polarized

그림 5. 도체와 유전체로 구성된 복합 산란체에 대한 RCS 계산 ($a=0.508\lambda_0$, $b=3a$, $d=0.762\lambda_0$)
 Fig. 5 Computed RCS for conducting-dielectric cylinder ($a=0.508\lambda_0$, $b=2a$, $d=0.762\lambda_0$)

그림 6. 유전체와 유전체로 구성된 복합 산란체에 대한 RCS 계산 ($a=0.593\lambda_0$, $b=2a$, $d=0.889\lambda_0$)
 Fig. 6 Computed RCS for dielectric-dielectric cylinder ($a=0.593\lambda_0$, $b=2a$, $d=0.889\lambda_0$)

$d=0.762\lambda_0$ 로 가정하고, 산란체의 표면은 656개의 삼각 요소로 이산화하였고, 이때의 미지수 (unknown)는 1360이었다. 계산된 RCS는 그림 4에 나타내었다. 다음은 첫 번째 예제에서와 같이 산란체의 상부가 도체로 구성된 경우에 대하여 산란체의 높이를 $b=3a$ 로 변화시켰을 때의 RCS 계산결과를 그림 5에 나타내었다. 이 때 산란체의 표면은 816개의 삼각 요소로 이산화 시키고 총 미지수는 1600였다. 위 두 모델들의 경우, 측정결과 및 MoM/BOR^[5]의 계산결과와 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

마지막으로, 그림 3에 나타낸 수치계산 모델에 대하여 관심 주파수 3.5 GHz로 RCS를 계산하였

다. 매질정수는 영역 R_2 를 plexiglass ($\epsilon_{r2}=2.6$, $\mu_{r2}=1.0$), R_3 를 half nylon ($\epsilon_{r3}=3.4$, $\mu_{r3}=1.0$)으로 두고 계산한 결과를 그림 6에 나타내었다. 이때 산란체의 높이를 각각 $a=0.593\lambda_0$, $b=2a$, 산란체의 직경은 $d=0.889\lambda_0$ 로 하였다. 이 경우 산란체의 표면은 656개의 삼각 요소로 분할하였고, 미지수는 1920였다. 참고문헌^[5]의 결과와 비교하였을 경우, 영역 R_3 에서 계산된 RCS가 부분적으로 일치하지 않은 것을 알 수 있다. 이것은 수치계산 결과가 충분히 수렴하지 않아 나타난 것으로 추정되며, 영역 R_2 와 R_3 사이의 매질간 불연속으로 인해 나타난 것으로 생각된다.

V. 결 론

손실을 가지는 복합 유전체의 전자파 산란문제를 다룰 수 있도록 표면 적분 방정식에 기초한 모멘트법을 이용하여 수치모델화 하고 수치해석을 통하여 계산결과의 유효성을 검증하였다.

본 논문에서 코드를 검증하기 위하여 사용한 수치모델은 축대칭 모델로서 모델의 형상이 비교적 간단하지만, 임의의 형상을 한 구조물에 대하여서도 해석이 가능하다. 이것을 토대로 매질내 감쇠특성을 가질 경우 및 임의의 형상의 구조물에 대한 산란특성의 해석, 서로 다른 유전율을 가지는 복합 구조물에 대한 해석 등이 기대된다.

그러나 도체와 유전체의 복합 구조물로 구성된 수치계산 결과의 경우는 수평편파를 이용하여 계산한 경우와 비교하여 측정치와 약간의 차이를 보였다. 이것은 산란체의 원주 둘레 방향에 대하여 수치계산상의 수렴이 문제인 것으로 추정된다. 또한 서로 다른 유전율을 가지는 복합 구조물에 대한 후방산란단면적의 계산결과에 대해서 산란체의 하부 135° 및 225° 방향의 후방산란단면적의 산란계수의 감쇠가 뚜렷하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 하부 유전체의 상대 유전율에 대하여 상대적으로 이산화된 요소가 부족한 것으로 판단된다. 몇 가지 수치계산 모델에 대한 계산결과는 대체적으로 타당한 것으로 생각지만 다양한 구조를 한 산란체에 적용하여 구체적인 검증이 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

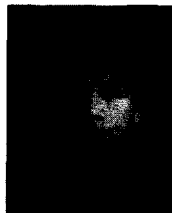
[1] R. F. Harrington, "Field Computation by Moment Methods", New York: Macmillan, 1992.
 [2] Korada Umashankar et al., "Electro-magnetic scattering by arbitrary shape three-dimensional homogeneous lossy dielectric objects", IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-34, pp. 758-766, 1986.
 [3] Morteza Analoui and Y. Kagawa, "Electro-magnetic scattering from conductor coated material bodies", Int. Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Vol.4, pp. 287-299, 1991.
 [4] S. M. Rao et al., "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape", IEEE Trans.

Antennas Propagat., AP-30, pp. 409-418, 1982.

[5] Louis N. Medgyesi-Mitschang et al., "Elec-tromagnetic scattering from axially inhom-ogeneous bodies of revolution", IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-32, pp. 797-806, 1984.

저자소개

김태용(Tae Yong Kim)

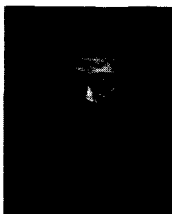


1993년 2월 부산수산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 3월 오카야마대학 전기전자공학과 졸업(공학석사)
 2001년 3월 오카야마대학 자연과학연구과 졸업(공학박사)

2002년 3월~현재 동서대학교 인터넷공학부 초빙교수

※관심분야: 전자계 수치해석, 안테나설계, 임베디드 시스템

김석재(Seok-Jae Kim)



1985년 2월 부산수산대학교 전자통신공학과 졸업(학사)
 1989년 2월 부산수산대학교 전자통신공학과 졸업(석사)
 1994년 8월 부산수산대학교 전자공학과 졸업(박사)

1987년 5월~1989년 4월 창원대학 전자공학과 조교
 1989년 5월~현재 한국해양수산연수원 교수로 재직중(전파통신)

※관심분야: 음향 및 수중음향신호처리, 적응신호처리, GPS 및 선위측정 시스템