

광대역 전자파를 이용한 역산란 해석 연구

Analysis of Microwave Inverse Scattering Using the Broadband Electromagnetic Waves

이정훈 · 정용식 · 소준호* · 김준연* · 장 원*

Jung-Hoon Lee · Young-Seek Chung · Joon-Ho So* · Junyeon Kim* · Won Jang*

요 약

본 논문에서는 시간 영역 유한차분법(FDTD: Finite-Difference Time-Domain Method)과 설계 민감도법(design sensitivity analysis)을 이용하여 미지의 유전체 산란체(dielectric scatterer) 복원을 위한 역산란 문제(inverse scattering)의 새로운 해석 기법을 제안하였다. 본 연구에서는 빠른 수렴을 위하여 목적 함수의 도함수를 이용한 설계 민감도법을 도입하였고, 시간 영역 유한차분법으로부터 직접 설계 민감도 수식을 도출하였다. 해석의 효율성을 위하여 보조 변수법(adjoint variable method)을 도입하여 보조 변수 방정식을 도출하고 최적화 알고리즘으로 최대 경사도법을 이용하여 반복적인 추정을 통하여 미지의 유전체를 복원하였다. 본 연구의 타당성의 보이기 위하여 2차원 TM^2 에서의 유전체 복원 사례를 제시한다.

Abstract

In this paper, we proposed a new algorithm of the inverse scattering for the reconstruction of unknown dielectric scatterers using the finite-difference time-domain method and the design sensitivity analysis. We introduced the design sensitivity analysis based on the gradient information for the fast convergence of the reconstruction. By introducing the adjoint variable method for the efficient calculation, we derived the adjoint variable equation. As an optimal algorithm, we used the steepest descent method and reconstructed the dielectric targets using the iterative estimation. To verify our algorithm, we will show the numerical examples for the two-dimensional TM^2 cases.

Key words : Inverse Scattering, FDTD, Design Sensitivity, Optimization

I. 서 론

전자파 역산란 문제(electromagnetic wave inverse scattering problem)는 미지의 산란체에 의한 산란파를 측정하여 산란체의 매질 특성과 형상을 복원하는 것으로서 지질 탐사와 비파괴 검사 등의 분야로부터 최근 들어 인체 내부의 암조직(cancer tumor) 등을 찾는 생명공학의 분야에까지 광범위하게 적용되고 있다^[1].

역산란 문제의 해석법은 크게 주파수 영역 해석

법과 시간 영역 해석법으로 나눌 수 있다. 특히 시간 영역의 해석법은 광대역의 신호를 이용할 수 있기 때문에 산란체 복원의 정확성이 높다. 이러한 마이크로파 역산란 문제의 시간 영역 해석법으로 시간 영역 유한차분법과 시간 영역 유한요소법(FETD: Finite Element Time Domain Method) 등이 사용되었고^{[2],[3]}, 이중 시간 영역 유한차분법이 해석의 간편성과 빠른 속도 등의 이유로 많이 적용되고 있다.

역산란 문제를 위한 해석의 평가를 위하여 목적 함수(objective function) 혹은 비용 함수(cost func-

「이 연구는 2003학년도 명지대학교 교내 연구비의 지원사업에 의하여 연구되었음.」

명지대학교 통신공학과(Department of Communication Engineering, MyongJi University)

*국방과학연구소 기술본부(TRC 2nd Division, Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20051105-12S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 6일

tion)를 정의하게 된다. 이때 목적 함수는 미지의 산란체에 의한 반사파와 추정된 산란체에 의한 반사파의 차이에 의한 에너지 등으로 정의될 수 있다. 이때 추정된 산란체가 원 산란체에 가까워지면 이러한 목적 함수의 값은 감소를 하게 되고 두 산란체의 모양이 일치하면 이론적으로 목적 함수의 값이 '0'이 된다. 그러므로 역산란 문제의 해석법은 산란체의 추정을 통한 목적 함수의 최소화 과정이라고 볼 수 있다. 이때 산란체의 추정을 위하여 이산화된 복원영역의 각 요소에서 정의되는 매질 특성을 변수로 설정할 수 있다. 이때 매질 변수와 목적 함수는 비선형 음 함수(nonlinear implicit function)의 형태로 표현되므로 목적 함수의 최소값을 찾기 위해서는 반복 계산 알고리즘이 필요하다. 또한 매질 변수에 의한 목적 함수의 최소화 과정은 기존의 최적화 이론과 동일한 것으로 비결정론적 알고리즘(undeterministic algorithm)과 결정론적 알고리즘(deterministic algorithm)이 있다. 비결정론적 알고리즘은 유전 알고리즘 등과 같은 목적 함수의 값만을 이용하여 최적의 해를 찾는 것으로 목적 함수의 미분 정보를 요구하지 않는다. 결정론적 알고리즘은 최대 경사도법(steepest descent method) 등과 같이 목적 함수의 미분 정보를 이용하여 극점을 찾는 방법으로 목적 함수가 2차 함수(quadratic function)의 형태를 갖는다면 매우 빠른 수렴 속도로 최적해를 찾을 수 있다. 본 연구에서는 목적 함수의 미분 정보를 구하기 위하여 설계 민감도법(DSA: Design Sensitivity Analysis)을 적용하였다. 설계 민감도법은 기계 항공 분야에서 유한요소법을 이용한 최적 설계를 위한 기법으로 최근 들어 역산란 문제의 해석법으로 활발히 적용되고 있다. 특히 시간 영역 유한차분법을 이용한 설계 민감도법은 행렬식을 갖지 않는 시간 영역 유한차분법의 특성으로 직접 유도하기가 매우 까다롭다. 본 연구에서는 공간적으로 이산화된 시간 영역 맥스웰 방정식을 이용하여 직접 설계 민감도 수식을 이론적으로 도출하였다. 또 설계 민감도의 효율적 계산을 위하여 보조 변수법(adjoint variable method)^{[4],[5]}을 도입하였고 이러한 보조 변수 수식도 기존 전자파 방정식과 동일하게 시간 영역 유한차분법으로 해석할 수 있음을 보였다.

본 연구의 타당성을 입증하기 위하여 2차원 TM^z

유전체 형상의 복원 사례를 제시하였다. 이때 최소화 과정을 위한 알고리즘으로 최대 경사도법(steepest descent)을 이용하였다.

II. FDTD-DSA를 이용한 역산란 문제 해석

마이크로파 역산란 해석 문제에서는 일반적으로 해석 영역 내부에 광대역 펄스의 평면파를 입사하고, 산란체에 의해 발생된 반사파를 산란체 주변의 위치에서 측정한다. 이때 평면파를 입사하기 위하여 total field/scattered field의 알고리즘을 사용하였고 반사파의 측정은 반사파의 영역에서 실시하였다. 또한 유한한 해석 공간을 위하여 완전 흡수체(PML: Perfectly Matched Layer)를 최외곽에 배치를 하여 반사파를 흡수하도록 하였다^[6].

2-1 문제 정의

유전체에 의한 역산란 문제 해석 시 목적 함수(F)는 매질 변수 혹은 역산란 문제 변수(p)의 함수로 표현되며^[5], p 는 유전율의 정보를 갖는 벡터로 표시된다. 이때 목적 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \int_0^{T_f} G(E(p), H(p)) dt \quad (1)$$

$$G(E, H) = \sum_{n=1}^{N_T} \sum_{m=1}^{N_R} \{ |E_c^s(p) - E_m^s|^2 + |H_c^s(p) - H_m^s|^2 \} \quad (2)$$

식 (1)에서 $G(E, H)$ 는 식 (2)로 나타나고, E_m^s, H_m^s 는 원 산란체에 의한 반사 전자계의 세기이고, $E_c^s(p), H_c^s(p)$ 는 추정된 산란체에 의한 반사 전자계의 세기를 나타낸다. T_f 는 총 해석 시간으로 반사파의 신호가 충분히 진행한 시간을 의미한다. 식 (2)의 목적 함수에서 역산란 문제 변수 p 를 포함하고 있는 부분은 $E_c^s(p), H_c^s(p)$ 항이다. N_T, N_R 는 각각 송신 안테나의 개수와 수신 안테나의 개수이다. 식 (1)을 p 에 관해 전미분(total derivative)을 취하면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dF}{dp} &= \int_0^{T_f} \frac{\partial G}{\partial p} dt = \int_0^{T_f} \left(\frac{\partial E}{\partial p} + \frac{\partial H}{\partial p} \right) dt \\ &= \int_0^{T_f} (G_E \ G_H) \cdot (E_p \ H_p)' dt \quad (3) \end{aligned}$$

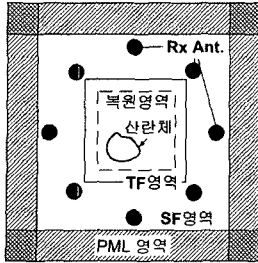


그림 1. TM^z 평면파가 각 방향에서 입사하는 PML 구조

Fig. 1. Numerical configuration of problem. The TM^z plane wave is incident at each direction.

여기서, G_E, G_H, E_p, H_p 는 다음과 같이 정의되는 미분 함수이다.

$$G_E = \frac{\partial G}{\partial E}, G_H = \frac{\partial G}{\partial H}, E_p = \frac{\partial E}{\partial p}, H_p = \frac{\partial H}{\partial p} \quad (4)$$

식 (1)에서 $G(\mathbf{E}, \mathbf{H})$ 의 역산란 문제 변수 p 를 포함하는 항은 E_c^s, H_c^s 이므로, 식 (3)의 우변에서 다른 항들은 0으로 되고, G_E 는 알려진 값이므로, 식 (3)은 결국 E_p 와 H_p 를 구하는 문제로 변경된다.

2-2 설계민감도(Design Sensitivity)

맥스웰 회전방정식을 직각 좌표계에서 TM^z 모드로 표현하면 다음과 같다.

$$\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (5)$$

$$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (6)$$

$$\epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - J_z \quad (7)$$

여기서 E, H 는 각각 전·자계를 나타내고 J 는 외부에서 인가된 전원의 전류밀도이다. ϵ, μ, σ 는 각각 유전율, 투자율, 전도율을 나타낸다. 식 (5)~(7)을 중앙차분법을 이용해 공간상의 이산화 과정을 적용한 시간 영역 방정식으로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$[\epsilon]\{E\} = [L_1]\{H\} + \{J\} + [\sigma]\{E\} \quad (8)$$

$$[\mu]\{H\} = [L_2]\{E\} + [\sigma^*]\{H\} \quad (9)$$

여기서, $[\sigma]\{E\}$ 와 $[\sigma^*]\{H\}$ 는 그림 1에 나타난 PML

(Perfect Matched Layer)에 의한 흡수 경계 조건을 만족하기 위해 존재하는 항으로서 각각 전계와 자계에 의한 손실을 의미한다. 식 (8)과 (9)를 함께 표현하면 다음과 같은 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \epsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E \\ H \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E \\ H \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} J \\ M \end{Bmatrix} \quad (10)$$

위의 전자계 변수상의 “ \cdot ”는 시간에 대한 미분 연산자이고, L_1 과 L_2 는 공간 미분 연산자를 중앙차분법을 적용하여 변환된 계수 벡터이다. 식 (3)의 계산을 위한 E_p 와 H_p 를 구하기 위하여 식 (10)을 역산란 문제 변수 p 에 관해 미분을 취하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \epsilon_p & 0 \\ 0 & \mu_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E \\ H \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E \\ H \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_p & L_{2,p} \\ L_{1,p} & \sigma_p^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E \\ H \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E_p \\ H_p \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} J_p \\ M_p \end{Bmatrix} \quad (11)$$

여기서 자계의 전류원은 존재하지 않고 투자율은 상수라고 가정한다. 그리고 $\mu_p, \sigma_p, \sigma_p^*$ 와 J_p, M_p 은 역산란 문제 변수에 독립인 항들이며, $L_{1,p}, L_{2,p}$ 은 공간에 대한 미분 연산자이므로 이 항들은 역산란 문제 변수에 관해 전미분하면 모두 ‘0’이 된다. 따라서 식 (11)을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \epsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E_p \\ H_p \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E_p \\ H_p \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} Q \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (12)$$

여기서 $Q_j = -\epsilon_p E$ 이다. 위의 식을 계산하면 E_p 와 H_p 를 얻을 수 있고 이 값을 식 (3)에 대입하면 목적 함수의 미분 정보를 계산할 수 있다. 하지만 식 (12)의 계산은 역산란 문제 변수 벡터 p 의 성분 수 만큼 계산해야 하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 보조 변수를 도입하면 p 의 성분수와 관계없이 한 번의 계산으로 설계 민감도를 계산할 수 있다. 보조 변수 벡터 (λ, γ) 를 식 (12)의 양변에 곱하고 시간 영역에 대한 적분을 취하면 다음과 같다.

$$\int_0^{T'} (\lambda \ \gamma)^T \left\{ \begin{bmatrix} \epsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E_p \\ H_p \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E_p \\ H_p \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} Q \\ 0 \end{Bmatrix} \right\} dt = 0 \quad (13)$$

위의 식에 시간에 대한 부분 적분법을 적용하고 전자계 변수의 초기 조건을 적용하면 아래와 같은

결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ H_p \end{bmatrix} \Big|_{t=T_f} - \int_0^{T_f} \left\{ \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ H_p \end{bmatrix} \right. \\ & \left. - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ H_p \end{bmatrix} - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} Q \\ 0 \end{bmatrix} \right\} dt = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

이때 도입된 보조변수 $(\lambda \ \gamma)$ 는 임의의 벡터이므로, 계산의 편의성을 위하여 다음과 같은 종단 조건을 적용하면 식 (16)과 같이 된다.

$$\lambda(T_f) = \gamma(T_f) = 0 \quad (15)$$

$$\int_0^{T_f} \left\{ \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ H_p \end{bmatrix} - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} Q \\ 0 \end{bmatrix} \right\} dt = 0 \quad (16)$$

$$\frac{dF}{dp} = - \int_0^{T_f} \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} Q \\ 0 \end{bmatrix} dt \quad (17)$$

앞의 식 (3)과 식 (16), (17)을 비교하면 서로 형태가 동일하므로 다음과 같이 할 수 있으며 (G_E, G_H) 는 식 (19)와 같다.

$$\begin{aligned} & \int_0^{T_f} (G_E \ G_H) \cdot (E_p \ H_p)^T dt = \\ & \int_0^{T_f} \left\{ \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ H_p \end{bmatrix} \right\} dt = 0 \quad (18) \\ & \begin{pmatrix} G_E \\ G_H \end{pmatrix}^T = \left\{ \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^T \begin{bmatrix} \sigma & L_1 \\ L_2 & \sigma^* \end{bmatrix} \right\}^T \\ & = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda \\ \gamma \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \sigma & L_1 \\ L_2 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda \\ \gamma \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (19)$$

보조 변수에 적용한 종단 조건을 계산의 편의성을 위하여 역시간 변화를 하여, 초기 조건을 갖는 문제로 변환하기 위해, 식 (19)에 $\tau \equiv T_f - t$ 와 이때의 미분 값, $d/dt = -d/d\tau$ 인 변환을 이용하면, 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$\begin{pmatrix} G_E \\ G_H \end{pmatrix}^T = \left\{ \begin{pmatrix} \bar{\lambda} \\ \bar{\gamma} \end{pmatrix}^T \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} - \begin{pmatrix} \bar{\lambda} \\ \bar{\gamma} \end{pmatrix}^T \begin{bmatrix} \sigma & L_1 \\ L_2 & \sigma^* \end{bmatrix} \right\}^T \quad (20)$$

여기서 ‘-’로 표기된 것은 역시간 적용을 의미한다. 식 (20)을 다시 쓰면, 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \bar{\lambda} \\ \bar{\gamma} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & L_2 \\ L_1 & \sigma^* \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \bar{\lambda} \\ \bar{\gamma} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} G_E \\ G_H \end{pmatrix} \quad (21)$$

식 (21)은 식 (12)의 맥스웰 방정식과 형태가 거의

유사하고, 보조 변수의 전원은 $(\overline{G_E} \ \overline{G_H})$ 에 의해 생성되며, 미분 연산자의 부호가 바뀌는 특성을 이용하면, 보조 변수의 값을 구할 수 있다. 따라서, 설계 민감도는 다음과 같다.

$$\frac{dF}{dp} = - \int_0^{T_f} \lambda \frac{d\varepsilon}{dp} E dt \quad (22)$$

여기서 $d\varepsilon/dp$ 의 항은 역문제 변수가 존재하는 구간에 대해서 값을 갖게 되며, 미분한 값은 ε_0 가 된다.

2-3 역산란 문제해석을 위한 최적화 알고리즘

본 논문에서 사용하는 최적화 방법은 최대 경사 도법(steepest descent method)을 사용한다. 최대 경사 도법은 반복적으로 역산란 문제 변수를 변화시키면서 최적화 점으로 근접해 가는 방법이다^{[7],[8]}.

$$p_{i+1} = p_i + \Delta p_i \quad (23)$$

여기서 p_i 는 현 단계에서의 최적화 변수 벡터, p_{i+1} 은 새로운 최적화 변수 벡터이고, Δp_i 는 역산란 문제 변수의 변화량이다. Δp_i 는 목적 함수와 목적 함수의 미분 정보에 의해 결정되어진다.

$$p_{i+1} = p_i - \frac{dF/dp}{\|dF/dp\|^2} F \quad (24)$$

따라서, 위의 식을 반복적으로 갱신함에 따라 역산란 문제 변수가 원래의 유전 산란체가 가지는 유전율로 수렴하게 되며, 이에 대한 복원 알고리즘을 그림 2에 나타내었다.

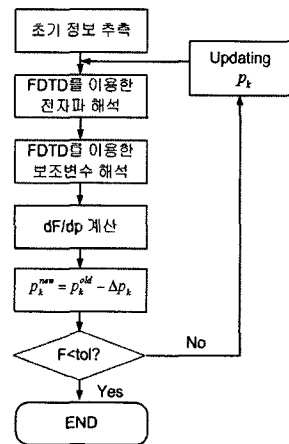


그림 2. FDTD를 이용한 복원 알고리즘 순서도
Fig. 2. Reconstruction algorithm using the FDTD.

III. 해석사례

본 연구의 타당성을 보이기 위하여 그림 3과 같은 서로 다른 유전율을 갖는 2차원 유전체와 그림 6과 같은 하나의 산란체가 두 가지의 유전율을 가지는 산란체에 대하여 형상 복원을 실시하였다.

유전체의 복원을 위하여 유전체를 포함하는 충분

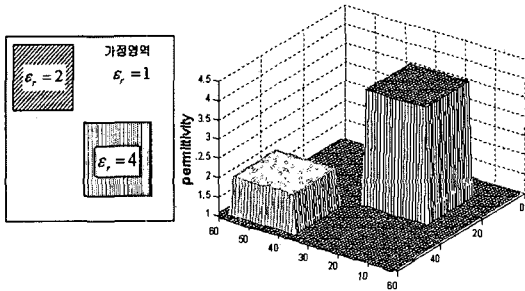


그림 3. 산란체 원 모델의 유전체 형상
Fig. 3. Dielectric shape of original scatterer.

표 1. 다수 산란체 모델의 각 파라미터
Table 1. Parameters of multi-scatterer model.

파라미터	값
중심 주파수 [GHz]	10
$\Delta x, \Delta y$ [mm]	1.0
복원되는 영역의 크기	60×60
N_T	4
N_R	8

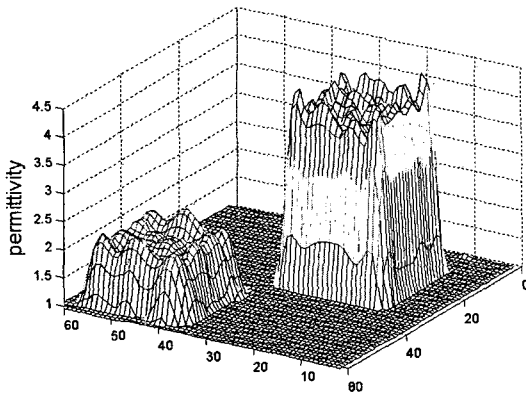


그림 4. 산란체 복원 형상(50회 반복 후)
Fig. 4. Reconstructed shape of scatterer after the 50th iteration.

히 큰 복원 영역을 설정하였고, 이때 복원 영역 내부의 유전체 매질 특성은 본 연구의 알고리즘에 의한 추정을 통해서 계산된다. 그림 3에서 원래의 산란체가 가지는 유전율을 나타내었으며, 그림 4는 50회 반복 후의 추정된 유전율과 형상을 보여준다. 원 유전체와 매우 흡사함을 볼 수 있다. 그림 5는 복원 반복에 따른 목적 함수의 변화를 나타낸 것이다. 20회 반복까지 빠르게 목적 함수가 감소하고 그 이후에는 수렴 속도가 느려짐을 알 수 있다. 그림 6은 한

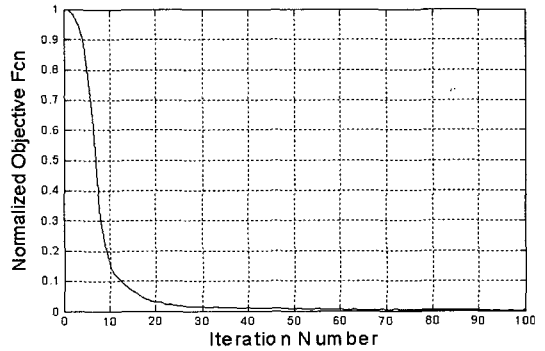


그림 5. 반복 횟수에 따른 정규화 된 목적 함수
Fig. 5. Normalized objective Fcn. vs. iteration.

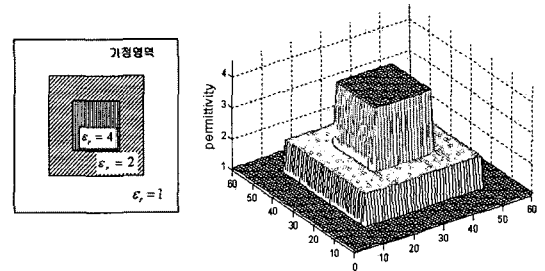


그림 6. 산란체 원 모델의 유전체 형상
Fig. 6. Dielectric shape of original scatterer.

표 2. 복합 산란체 모델의 각 파라미터
Table 2. Parameters of complex-scatterer model.

파라미터	값
중심주파수 [GHz]	10
$\Delta x, \Delta y$ [mm]	1.0
복원되는 영역의 크기	60×60
N_T	8
N_R	8

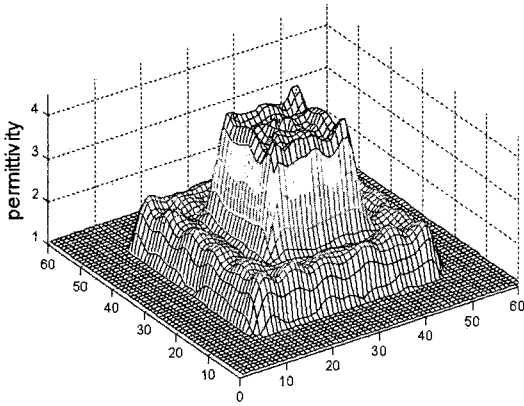


그림 7. 산란체 복원 형상(50회 반복 후)
Fig. 7. Reconstructed shape of scatterer after the 50th iteration.

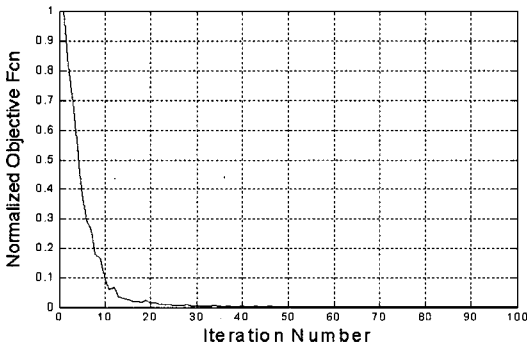


그림 8. 반복 횟수에 따른 정규화된 목적 함수
Fig. 8. Normalized objective Fcn. vs. iteration.

개의 산란체가 두 가지의 유전율을 가지는 경우에 대한 복원 예제이다. 그림 7은 50회 반복 후의 추정된 유전율과 형상을 보여준다. 두 가지의 유전율을 가지는 산란체 모델에 대해서도 매우 흡사하게 복원됨을 알 수 있다. 그림 8은 복원 반복에 따른 목적 함수의 변화를 나타낸 것이다. 10회 반복까지 목적 함수의 값이 10% 이내로 줄어들음을 볼 수 있고, 20회 이후로는 1% 이내의 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

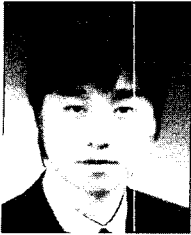
본 논문에서는 시간 영역 유한차분법(FDTD: Finite-Difference Time-Domain Method)과 설계 민감도법(design sensitivity analysis)을 이용하여 유전체

산란체의 유전율과 형상을 복원하기 위한 역산란 문제 새로운 해석 기법을 제안하였다. 맥스웰 방정식에 보조 변수를 취하여, 역시간 변화된 보조 변수 방정식을 도출하였으며, 이 방정식이 맥스웰 방정식의 형태와 유사한 형태를 가짐을 보였다. 또한 다중 및 복합 산란체에 대하여, 역산란 해석을 통해 제안된 기법의 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

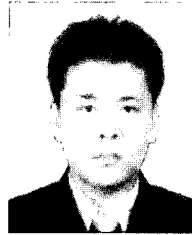
- [1] S. C. Hagness, A. Taflove, and J. E. Bridges, "Three-dimensional FDTD analysis of a pulsed microwave confocal system for breast cancer detection: Design of an antenna-array element", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 47, pp. 783-791, 1999.
- [2] Kane S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", *IEEE AP*, vol. 14, no. 3, pp. 302-307, May 1966.
- [3] S. C. Hagness, A. Taflove, *Computational Electromagnetics*, 2nd Ed., Artech House, 2000.
- [4] E. J. Haug, K. K. Choi, and V. Komkov, *Design Sensitivity Analysis of Structural Systems*, New York: Academic, 1986.
- [5] N. -W. Kang, Y. -S. Chung, C. Cheon, and H. -K. Jung, "A new 2-D image reconstruction algorithm based on FDTD and design sensitivity analysis", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 50, pp. 2734-2740, 2002.
- [6] J. Berenger, "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves", *J. Comput. Phys.*, vol. 113, pp. 185-200, Oct. 1994.
- [7] P. Neittaanmaki, M. Rudnicki, and A. Savini, *Inverse Problems and Optimal Design in Electricity and Magnetism*, Clarendon press Oxford, 1996.
- [8] Y. -S. Chung, C. Cheon, and S. -Y. Hahn, "Reconstruction of dielectric cylinders using FDTD and topology optimization technique", *IEEE Transactions on*, vol. 36, no. 4, Jul. 2000.

이 정 훈



2004년 2월: 명지대학교 전자정보
통신공학과 (공학사)
2006년 3월~현재: 명지대학교 통
신공학과 석사과정
[주 관심분야] 전자파 수치해석,
Inverse Scattering

김 준 연



1997년 2월: 서울시립대학교 전자
공학과 (공학사)
1999년 2월: 서울시립대학교 전자
공학과 (공학석사)
1999년 3월~현재: 국방과학연구소
선임연구원
[주 관심분야] 전자파 수치해석 및
능동위상배열안테나 설계

정 용 식



1989년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학사)
1991년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학석사)
2000년 8월: 서울대학교 전기공학
부 (공학박사)
2001년 9월~2003년 2월: 미국 Sy-
racuse 대학교 (Post Doctor)

2003년 3월~현재: 명지대학교 통신공학과 조교수
[주 관심분야] 전자파 수치해석, Inverse Scattering, EMI/
EMC

장 원



1984년 2월: 서울대학교 전자공학
과 (공학사)
1986년 2월: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (공학박사)
1991년~현재: 국방과학연구소 책
임연구원

[주 관심분야] 통신시스템, 주파수도약통신, 대역확산통
신

소 준 호



1988년 2월: 서울시립대학교 전자
공학과 (공학사)
1990년 2월: 서울시립대학교 전자
공학과 (공학석사)
1990년 2월~현재: 국방과학연구소
선임연구원
[주 관심분야] 능동위상배열안테나
시스템 및 전자파 수치해석