

손실 반공간에 묻힌 원통형 산란체의 검출 및 영상재구성에 의한 식별

Iterative Reconstruction of a Cylinder Buried in the Lossy Half Space

김정석 · 나정웅

Jeong-Seok Kim · Jung-Woong Ra

요 약

손실 반공간에 묻혀 있는 원통형 산란체와 주변 매질의 특성을 반복 기법 최적화 역산란을 적용하여 구했다. 산란파는 경계요소법을 이용하여 계산하였으며 산란체의 크기, 위치, 내부매질의 비유전율, 도전을, 주변 매질의 비유전율, 도전을 등의 파라미터는 측정 산란파로부터 유전 알고리즘과 Levenberg-Marquardt 알고리즘의 혼합 알고리즘을 이용하여 역으로 계산하였다. 산란파의 측정오차에 의한 illposedness는 파수 영역에서 지수함수적으로 감쇠하는 감쇠모드를 제거하여 안정화시켰다.

Abstract

A cylindrical object buried in the lossy half space is reconstructed from the measured scattered fields above the lossy half space. The position, the size and the medium parameters i.e. relative dielectric constants and conductivity of the buried object as well as the medium parameters of the background lossy half space are obtained from the scattered fields by using the iterative inversion method and the optimization hybrid algorithm combining the genetic algorithm and the Levenberg-Marquardt algorithm. Illposedness of the inversion due to the measurement errors in the scattered fields are regularized by filtering out the evanescent modes in the spatial frequency spectrum domain.

I. 서 론

GPR을 이용하여 지표면 위에서 땅속에 묻혀 있는 파이프나 케이블 등의 산란체에 대한 전자파를 측정함으로써 산란체의 유무와 위치를 알 수 있으나 그것의 모양과 산란체 내부 매질에 대한 정보는 한정되어 있다^[1]. 따라서 측정된 전자파로부터 산란체에 대한 여러 가지 정보를 알아내는 방법이 연구되고 있다.

Born근사나 Geophysical Diffraction Tomogr-

aphy^[2] 등을 이용하여 산란체 내부 유전을 분포를 구할 수 있으나 이 방법은 산란체의 유전율이 배경 매질과 비슷한 약산란체이고 크기가 파장에 비하여 작은 경우에만 이용할 수 있다. 강산란체에 대해서는 측정된 산란파와 가정된 복소 유전을 분포로부터 계산된 산란파의 차이의 제곱을 비용함수로 정의하고 Levenberg-Marquardt 알고리즘[LMA]과 genetic 알고리즘[GA] 등의 최적화 알고리즘을 이용하여 비용함수가 최소가 되는 복소 유전율의 분포를 구하는 반복기법 역산란 방법이 있다^[3]. 이 방법은

한국과학기술원 전자전산학과(Department of Electrical Engineering and Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

· 논문 번호 · 2000728-118

· 수정완료일자 2000년 8월 22일

강산란체에 적용이 가능하나 산란파에 미약한 잡음이 들어가도 재구성된 유전을 본포에 오차를 크게 증폭시키는 illposedness 문제가 생긴다. 파수 스펙트럼 영역에서 보면 illposedness는 산란파의 작은 잡음인 지수적으로 감소하는 감쇠 모드 성분이 역산란 계산 과정에서 지수적으로 증폭되어 나타나는 것으로 생각할 수 있다^[4]. Illposedness를 극복하기 위하여 감쇠모드 성분은 필터링하고 진행 모드 성분만을 취해야 한다. 산란파 파수 스펙트럼의 대역폭 k_{max} 와 산란체의 해상도 ΔL 과의 관계는 샘플링 정리로부터 $k_{max} * \Delta L \sim 2\pi$ 로 주어지고 이로부터 최대 얻을 수 있는 산란체의 해상도에 제한이 오게 된다. 더 작은 해상도를 얻기 위해서는 k_{max} 를 더 크게 해야 하는데 이때 감쇠 모드 성분이 들어가게 되고 illposedness를 피할 수 없게 된다. 또한 미지수의 개수가 진행모드보다 많으면 감쇠모드까지 이용해야 하므로 illposedness가 발생한다.

이러한 제한으로 인하여 산란체 내부의 복소 유전을 본포가 아닌 산란체의 위치, 크기, 대표적인 복소유전율값, 주변매질의 복소유전율값 등의 관심 있는 변수들을 반복기법 최적화 역산란 기법을 이용하여 구하는 방법이 연구되고 있다. 이 방법은 변수의 개수가 기존의 방법에 비하여 적기 때문에 매우 효율적으로 원하는 정보를 추출할 수 있다. 1차원 층이 있는 구조^[5], 도체구^[6] 등에 응용되고 있으며 각각 conjugate gradient method와 Marguardt 알고리즘을 이용하고 5개 정도의 변수를 추출해 내고 있다. Newton 알고리즘을 이용하여 반공간에서 원통형 도체의 모양^[7]이나 자유공간에서 원통형 유전체의 모양^[8]을 10개 정도의 변수로 하여 추출하는 방법이 연구되고 있으며 bore hole 구조에서 원통형 유전체의 위치, 크기, 내부매질의 변수, 배경매질의 변수, 송, 수신간의 거리 등 11개의 변수를 LMA와 GA의 혼합 알고리즘을 이용하여 추출하고 있다^[9].

산란체가 유전율과 도전율을 모두 가지고 있을 때 유전율과 도전율을 모두 알아내는 것은 매우 어렵다. 또한 산란체가 유전체인지 도체인지 구분하는 것도 매우 어려운 일이다. 본 논문에서는 손실 반공간에 묻혀 있으며 균일한 매질로 되어 있는 원통형 산란체로부터 측정된 산란파를 이용하여 산란체의

위치, 크기, 비유전율, 도전율, 배경매질의 비유전율, 도전율 등 7개의 변수를 정의하고 가정된 7개의 변수로부터 계산된 산란파와 측정된 산란파의 차이의 제곱을 비용함수로 정의하고 LMA와 GA의 혼합 알고리즘을 이용하여 최종적인 변수를 구한다. 이 변수로부터 유전체의 유전율과 도전율을 모두 알 수 있으며 유전체와 도체의 구분도 가능하다.

II. 손실반공간에 묻혀 있는 원통형 산란체에 대한 산란파 계산

2.1 반공간 Green함수와 경계요소법을 이용한 산란파 계산

그림 1과 같이 2차원 산란체가 손실 반공간에 묻혀 있고 선전원이 z축 방향으로 매질 I에 존재할 때 z 방향으로 분극화된 전계는 다음과 같이 주어진다.

$$u = u_h + u_s \tag{1}$$

u_h 는 산란체가 없을 때 z축 방향으로 분극된 전계이며 반공간 Green함수를 이용하여 나타낼 수 있다. 반공간 Green함수는 $y = \pm \infty$ 에서 복사조건과 $y=0$ 에서의 경계조건을 만족해야 한다. 송수신점이 모두 매질 I에 있는 경우 Green함수는 송수신점에서 수신점으로 직접 도달하는 직접파와 경계면에 반사되어 도달하는 반사파의 합으로 주어지고 송수신이 매질 I, 수신점이 매질 II에 있는 경우는 굴절파만이 존재하며 x방향의 파수 k_x 에 대하여 각각의 평면파 성분들의 합으로 주어진다. 이로부터 u_h 는 다음과 같이 주어진다. 이때 사용한 시간조화 함수는 $e^{j\omega t}$ 이다.

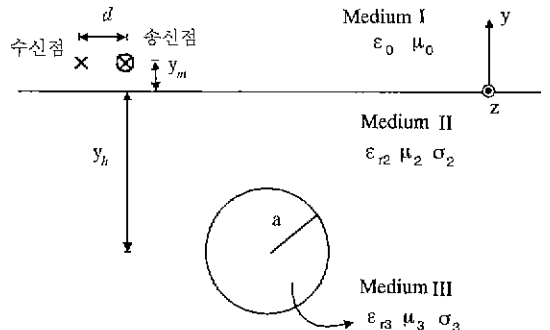


그림 1. 측정 구조

$$u_h(x, y; x', y') = -\frac{\omega\mu_0}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-j k_x(x-x')}}{2j\sqrt{k_1^2-k_x^2}} \left[e^{-j\sqrt{k_1^2-k_x^2}y-y'} + \frac{\sqrt{k_1^2-k_x^2}-\sqrt{k_2^2-k_x^2}}{\sqrt{k_1^2-k_x^2}+\sqrt{k_2^2-k_x^2}} \cdot e^{-j\sqrt{k_1^2-k_x^2}(y+y')} \right] dk_x, \quad y \geq 0, y' \geq 0 \quad (2a)$$

$$-\frac{\omega\mu_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-j k_x(x-x')}}{\sqrt{k_1^2-k_x^2}+\sqrt{k_2^2-k_x^2}} \cdot e^{-j\sqrt{k_1^2-k_x^2}y'} e^{j\sqrt{k_2^2-k_x^2}y} dk_x, \quad y < 0, y' > 0 \quad (2b)$$

산란체만에 의한 산란파 u_s 는 수치 해석적인 방법으로 구하고자 한다. 산란체와 배경매질이 균일한 매질이므로 경계요소법[BEM]을 이용하여 산란파 u_s 를 구해보면, 매질 III에서의 총전계 u_o 와 매질 I, II에서의 총전계 u_e 는 다음의 kirchhoff integral을 만족한다.

$$u_o(\underline{\rho}) = u'(\underline{\rho}) + \int_{\Gamma} \left\{ G_o(\underline{\rho}, \underline{\rho}') \frac{\partial u_e(\underline{\rho}')}{\partial n_o} - u_o(\underline{\rho}') \frac{\partial G_o(\underline{\rho}, \underline{\rho}')}{\partial n_o} \right\} dl \quad (3a)$$

$$u_e(\underline{\rho}) = \int_{\Gamma} \left\{ G_e(\underline{\rho}, \underline{\rho}') \frac{\partial u_o(\underline{\rho}')}{\partial n_e} - u_o(\underline{\rho}') \frac{\partial G_e(\underline{\rho}, \underline{\rho}')}{\partial n_e} \right\} dl \quad (3b)$$

여기에서 G_o 는 매질 III에 대한 자유공간 Green 함수이며 G_e 는 매질 I, II로 이루어진 반공간 Green 함수이고 n_o, n_e 는 산란체 내부, 외부에서의 수직방향 벡터이며 Γ 는 산란체 경계면을 의미한다. k_1 과 k_2 는 각각 매질 I과 매질 II에서의 파수이며 ϵ_0, μ_0 는 매질 I의 유전율과 투자율이며 ω 는 전원의 각주파수이다.

산란체 경계면 Γ 에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$u_o(\underline{\rho}) = u_e(\underline{\rho}) \equiv u(\underline{\rho}) \quad (4a)$$

$$\frac{\partial u_o}{\partial n_o} = -\frac{\partial u_e}{\partial n_e} \equiv q(\underline{\rho}) \quad (4b)$$

식 (3a), (3b)에서 ρ 를 경계면에 위치시키고 $\rho \rightarrow \rho'$ 일 때 Green 함수에 의한 특이점을 그림 2와 같이 ρ 근처에 반경 ϵ 인 작은 원을 그리고 그 원을 따

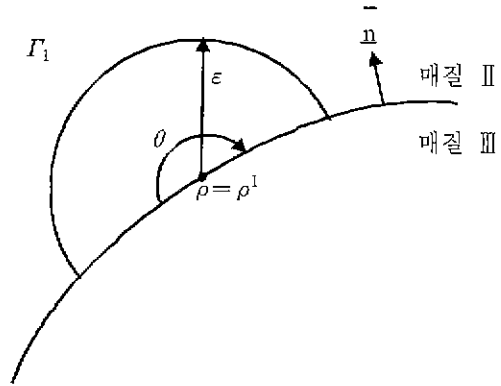


그림 2. 특이점을 피한 적분 경로

라 적분을 하여 특이점을 피하여 계산하면 다음과 같다^[10].

$$u'(\underline{\rho}) = \frac{\theta(\underline{\rho})}{2\pi} u(\underline{\rho}) + \int_{\Gamma} \left[G(\underline{\rho}, \underline{\rho}') q(\underline{\rho}') - u(\underline{\rho}') \frac{\partial G_e(\underline{\rho}, \underline{\rho}')}{\partial n} \right] dl \quad (5a)$$

$$0 = \left(1 - \frac{\theta(\underline{\rho})}{2\pi} \right) u(\underline{\rho}) - \int_{\Gamma} \left\{ G_o(\underline{\rho}, \underline{\rho}') q(\underline{\rho}') - u(\underline{\rho}') \frac{\partial G_o(\underline{\rho}, \underline{\rho}')}{\partial n} \right\} dl \quad (5b)$$

여기에서 \int_{Γ}^c 는 Cauchy's principal value of integration이며 $\theta(\underline{\rho})$ 는 $\underline{\rho}$ 에서의 바깥쪽 영역의 각도이다.

식 (5a), (5b)로부터 경계면을 N 개의 node로 나누고 $u(\rho)$ 와 $q(\rho)$ 를 기저함수로 나타내면 다음과 같은 행렬 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u' \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기에서 $u = [u_1, u_2, \dots, u_N]^T$, $q = [q_1, q_2, \dots, q_N]^T$, $u' = [u'_1, u'_2, \dots, u'_N]^T$ 이며 A, B, C, D는 각각 $N \times N$ 행렬로서 다음과 같이 주어진다.

$$A_{ij} = \left(1 - \frac{\theta_j}{2\pi} \right) \delta_{ij} + \int_{\Gamma} \frac{\partial G_o(\underline{\rho}_i, \underline{\rho}')}{\partial n} \phi_j(\underline{\rho}') dl$$

$$B_{ij} = - \int_{\Gamma} G_o(\underline{\rho}_i, \underline{\rho}') \phi_j(\underline{\rho}') dl$$

$$C_{ij} = \frac{\theta_j}{2\pi} \delta_{ij} - \int_{\Gamma} \frac{\partial G_e(\underline{\rho}_i, \underline{\rho}')}{\partial n} \phi_j(\underline{\rho}') dl$$

$$D_{ij} = \int_{\Gamma} G_e(\underline{\rho}_i, \underline{\rho}') \phi_j(\underline{\rho}') d\Gamma \quad (7)$$

여기에서 ϕ_j 는 j 번째 기저함수이다. 기저함수는 1차 함수(linear basis function)를 사용하였고 이 행렬 방정식으로부터 $u(\rho)$ 와 $q(\rho)$ 를 구할 수 있고 이로부터 임의의 측정점에서의 u_0 는 다음과 같다.

$$u_s(\underline{\rho}) = - \int_{\Gamma} \left\{ G_e(\underline{\rho}, \underline{\rho}') q(\underline{\rho}') - u(\underline{\rho}') \frac{\partial G_e(\underline{\rho}, \underline{\rho}')}{\partial n} \right\} d\Gamma \quad (8)$$

2-2 손실 반공간에서의 전계의 특성

식 (6)~(8)로부터 구한 전계가 그림 3에 나타나 있다. 여기에서 λ_2 는 매질 II에서의 파장이다.

입사파는 송신 안테나에서부터 수신안테나로 직접 입사하는 파를 말하며 반사파는 송신 안테나에서부터 반공간 경계면에 반사되어서 수신안테나로 들어가는 파를 말한다. 입사파와 반사파의 합인 직접파는 송수신 거리가 일정하므로 같은 값이 나오고 그 값에 비해 산란파는 매우 작은 값을 가진다. 총 전계를 살펴보면 산란파와 직접파의 합이 되므로 그림 3과 같이 간섭무늬파가 된다.

산란파를 파수 영역에서 보면 매질체의 정보도 분리해 낼 수 있고 물리적인 성질도 잘 설명할 수 있다. 측정오차(잡음)가 첨가되었을 때 산란파의 파수 스펙트럼을 그림 4에 나타내었다. 파수 스펙트럼 영역에서 보면 illposedness는 산란파의 작은 잡음인

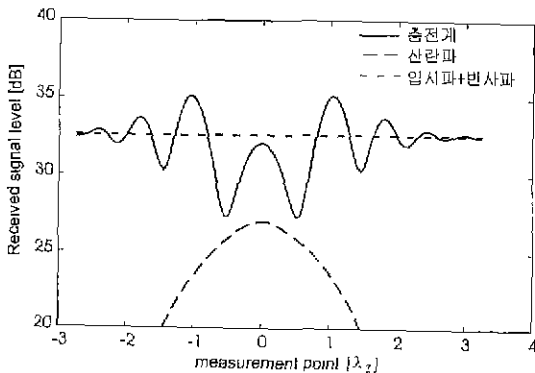


그림 3. 측정거리에 따른 전계의 크기(60 MHz)

$$\left\{ \begin{array}{l} y_m = 0.05\lambda_2, y_k = \lambda_2, d = 0.5\lambda_2, a = 0.5\lambda_2 \\ \epsilon_{r2} = 6.0, \sigma_2 = 0.001 [S/m], \epsilon_{r3} = 80.0, \sigma_3 = 0.1 [S/m] \end{array} \right.$$

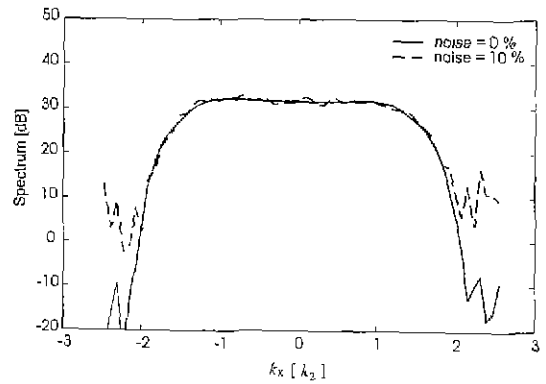


그림 4. 잡음이 첨가되었을 때 산란파 파수 스펙트럼

$$\left\{ \begin{array}{l} y_m = 0.05\lambda_2, y_k = \lambda_2, d = 0.5\lambda_2, a = 0.5\lambda_2 \\ \epsilon_{r2} = 6.0, \sigma_2 = 0.001 [S/m], \epsilon_{r3} = 80.0, \sigma_3 = 0.1 [S/m] \end{array} \right.$$

지수적으로 감소하는 감소 모드 성분이 역산란 계산 과정에서 지수적으로 증폭되어 나타나는 것으로 생각할 수 있다[4].

Illposedness를 극복하기 위하여 역산란시 잡음에 약한 감소모드 성분은 필터링하고 잡음에 강한 진행 모드 성분인 $-2k_2 \sim 2k_2$ 사이의 스펙트럼을 이용한다.

III. 반복기법 최적화 역산란

파수 스펙트럼 영역에서 측정된 산란파와 가정된 변수들로부터 계산된 산란파의 차이의 제곱을 비용함수로 정의하고 최적화 알고리즘을 이용하여 이 비용함수를 최소화하여 최종적인 변수들을 구하게 된다. 비용함수는 다음과 같이 정의된다.

$$f = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^M \sum_{m=1}^M | U_s^M(k_m, d_l, f_i) - U_s^C(k_m, d_l, f_i) |^2 \quad (9)$$

여기에서 U_s^M 은 원래의 변수들로 구성된 물체로부터 산란된 산란파의 m 번째 스펙트럼이며 U_s^C 는 가정된 변수들로부터 계산된 산란파의 스펙트럼이며 l 는 고정된 전원과 관측점간의 거리 d_l 의 총 개수, L 은 사용된 주파수 f_i 의 총 개수, M 은 사용된 스펙트럼 k_m 의 총 개수이다.

이 비용함수의 제곱은 항상 양수이고 제곱을 하

게 되면 절대값의 효과를 포함하여 모든 제공항 각각이 최소가 되어야 한다. 이 비용함수를 최소로 하는 변수 값이 찾고자 하는 값이다.

빠른 수렴 속도를 가지는 Newton 유형의 Steepest Descent 알고리즘을 개선시킨 Levenberg-Marquardt 알고리즘[LMA]과 실극소치를 찾을 수 있는 확률론적인 기법인 유전 알고리즘을 이용하되, 두 알고리즘의 장점을 취합한 혼합 알고리즘 형태로 구현하였다^[3]. 이를 그림 5에 나타내었다.

IV. 역산란 계산 결과

측정구조는 그림 1에 나와있는 바와 같이 손실반 공간에 원통형 산란체가 묻혀 있으며 매질 I은 공기로 가정하였고 산란체인 매질 III은 $1.0 \lambda_2$ 깊이 에 묻혀 있고 반지름은 $0.5 \lambda_2$ 로 가정하였고, 비유전율 6.0 도전을 $0.001[S/m]$ 의 매질 II에 묻혀있다. 송,수신기는 $0.5 \lambda_2$ 떨어져 있으며 매질 II로부터 $0.005 \lambda_2$ 위에 위치하여 x축을 따라 $-3 \lambda_2$ 에서 $3 \lambda_2$ 까지 51 포인트 측정한다. 여기에서 λ_2 는 매질 II에서의 파장이다. 주파수는 60 MHz 1개를 사용하였다.

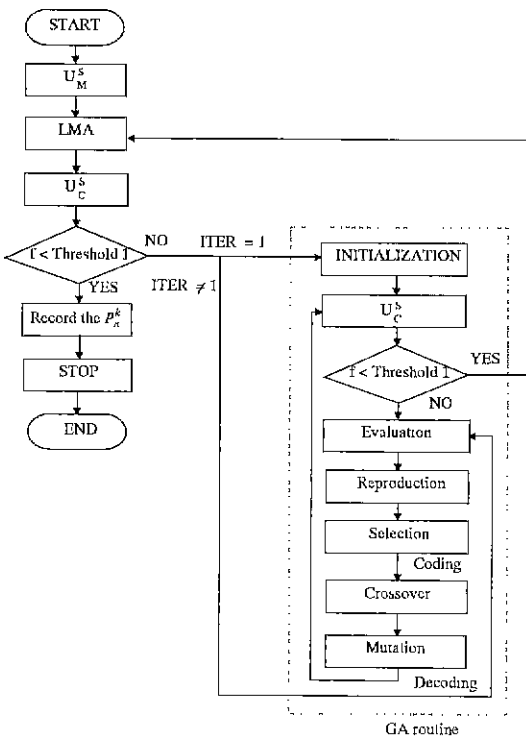


그림 5. 최적화 알고리즘의 개념도

구하고자 하는 변수는 산란체의 x축, y축 위치, 크기, 산란체의 비유전율, 도전을, 배경매질의 비유전율, 도전을 등 7개로 두었으며 산란파에 10%의 Gaussian 잡음을 첨가하였을 경우 변수를 구해보았다. Illposedness를 극복하기 위하여 감쇠모드를 제외한 전파모드만을 이용한다. 되산란파를 측정하므로 잡음에 강한 전파모드는 $-2k_2 \sim 2k_2$ 이며 그사이에서 변수개수 7개보다 많은 20개의 mode를 샘플링하여 역산란시 데이터로 사용하였다.

표 1은 산란체의 비유전율이 80, 도전을이 0.1 [S/m]인 경우 구한 변수들이며 표 2는 산란체가 공기라고 가정하여 비유전율이 1.0 도전을이 0[S/m]인 경우 구한 변수들이다. 산란체의 도전을이 비유전율

표 1. 산란체의 비유전율이 80, 도전을이 0.1인 경우

	잡음 0 %	잡음 10 %	실제 값
산란체 x축 좌표	-1.01×10^{-4}	2.6×10^{-1}	0.0[m]
산란체 y축 좌표	-2.00	-2.00	-2.0[m]
산란체 반경	1.00	1.018	1.0[m]
산란체 비유전율	76.57	70.0	80.0
산란체 도전을	0.124	0.19	0.1[S/m]
배경매질 비유전율	6.00	6.00	6.0
배경매질 도전을	9.95×10^{-4}	1.04×10^{-3}	0.001[S/m]
비용함수 최소값	9.08×10^{-7}	2.89×10^{-2}	
RMSerror	4.27×10^{-2}	0.124	

표 2. 산란체의 비유전율이 1.0, 도전을이 0.0인 경우

	noise 0%	noise 10%	실제 값
산란체 x축 좌표	-1.69×10^{-3}	-3.03×10^{-3}	0.0[m]
산란체 y축 좌표	-2.00	-1.98	-2.0[m]
산란체 반경	1.00	0.98	1.0[m]
산란체 비유전율	1.0	1.0	1.0
산란체 도전을	1.0×10^{-12}	1.0×10^{-12}	0.0[S/m]
배경매질 비유전율	6.00	6.00	6.0
배경매질 도전을	0.001	1.01×10^{-3}	0.001[S/m]
비용함수 최소값	1.63×10^{-4}	9.95×10^{-3}	
RMSerror	2.61×10^{-4}	4.39×10^{-3}	

표 3. 산란체의 비유전율이 80.0, 도전율이 0.0인 경우

	noise 10%	실제 값
산란체 x축 좌표	1.7×10^{-3}	0.0[m]
산란체 y축 좌표	-2.06	-2.0[m]
산란체 반경	1.04	1.0[m]
산란체 비유전율	73.7	80.0
산란체 도전율	7.86×10^{-4}	0.0[S/m]
배경매질 비유전율	6.02	6.0
배경매질 도전율	1.04×10^{-3}	0.001[S/m]
비용함수 최소값	1.37×10^{-2}	
RMSerror	7.85×10^{-2}	

표 4. 산란체가 도체인 경우

	도체
복수 비유전율 역수의 실수부	5.18×10^{-8}
복수 비유전율 역수의 허수부	1.0×10^{-9}
비용함수 최소값	5.08×10^{-4}

에 비하여 아주 작을 때는 최종적으로 구한 변수값이 실제값과 거의 같으나 도전율이 큰 경우는 약간의 오차가 발생하나 실제값 근처로 수렴함을 알 수 있다. 표 3은 산란체의 유전율이 80, 도전율이 0[S/m]인 경우이다. 이 결과로부터 산란체의 위치와 크기 정보뿐만 아니라 내부 유전율과 도전율을 분리하여 구할 수 있음을 알 수 있다. 산란체가 도체인 경우 측정된 산란파를 이용하여 산란체의 비유전율과 도전율의 역수를 변수로 하여 그 값을 구해보았다(표 4). 변수들이 0으로 수렴함을 알 수 있고 이 결과로부터 도체와 유전체의 구분이 가능함을 알 수 있다.

V. 결 론

반공간 역산란 과정에서 일어나는 illposedness를 $-2k_2 \sim 2k_2$ 사이의 전파모드만을 사용하여 극복하고 매질 산란체의 위치, 크기, 비유전율, 도전율, 배경

매질의 비유전율, 도전율을 다변수 최적화 역산란 기법을 이용하여 구해 보았다. 산란과 계산은 BEM을 이용하였으며 최적화 알고리즘은 LMA와 GA의 혼합 알고리즘을 이용하여 변수들을 구해보았다. 산란체의 위치, 크기뿐만 아니라 산란체의 유전율과 도전율을 모두 실제값에 근접한 값으로 구할 수 있음을 보였다. 산란체가 도체인 경우 비유전율과 도전율의 역수를 변수로 하여 구해본 결과 0으로 수렴함을 알 수 있었고 이로부터 유전체와 도체의 구분이 가능함을 알 수 있었다. 앞으로 유전체와 도체가 가까이 같이 있는 경우, 유전체가 2개 있는 경우 등 다수의 산란체에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Lyu, S. Y. Yang and J. W. Ra, "Imaging of the penetrable object buried in a lossy half space by using the iterative inversion algorithm", *6th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Sendai, Japan, pp. 217-221, Sep., 1996.
- [2] A. J. Devaney, "Geophysical diffraction tomography". *IEEE Tr. Geoscience and Remote Sensing*, vol. Ge-22, no. 1, pp. 3-13, Jan., 1984.
- [3] S. Y. Yang, H. K. Choi, and J. W. Ra, "Reconstruction of a large and high-contrast penetrable object by using the genetic and Levenberg-Marquardt algorithms," *Microw. Opt. Tech Lett.*, pp. 17-21, Sep., 1997.
- [4] Lee, J. M., S. Y. Kim, J. W. Ra, "A spectral inversion technique for reconstruction of complex permittivity profiles", *Electronics Letters*, vol. 24, pp. 556-558, 1988.
- [5] M. Mostafavi and R. Mittra, "Remote probing of inhomogeneous media using parameter optimization techniques", *Radio Sci. No. 7*, pp. 1105-1111, 1972.
- [6] T. J. Lee, "Inversion of transient electromagnetic data from a spherical conductor", *IEEE Tr. Geosci. and Remote Sensing*, GE-22, pp. 14-20, 1984.

- [7] C. C. Chiu and Y. W. Kiang, "Inverse scattering of a buried conducting cylinder", *Inverse problems* 7, pp. 187-202, 1991.
- [8] H. T. Lin and Y. W. Kiang, "Microwave Imaging for a dielectric cylinder", *IEEE Tr. MTT*, vol. 42, no. 8, pp. 1572-1579, Aug., 1994.
- [9] H. K. Choi, and J. W. Ra, "Detection and Identification of a tunnel by iterative inversion from cross-borehole CW measurement", *Micro. and Opt. Tech. Lett.*, vol. 21, no. 6, pp. 458-465, June, 1999.
- [10] S. Kagami and I. Fukai, "Application of boundary element method to electromagnetic field problems", *IEEE Tr. Microw. Theory and Tech.*, vol. 32, no 4, pp. 455-461, 1984.

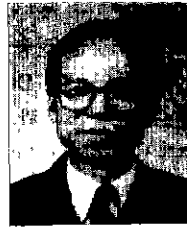
김 정 석



1972년 1월 13일생
 1994년: 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
 1996년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 현재: 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정

[주 관심분야] 전자파 수치해석, 전자파 역산란

나 정 응



1941년 7월 10일생
 1963년 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
 1967년: Polytechnic Institute of Brooklyn (공학석사)
 1971년: Polytechnic Institute of Brooklyn (공학박사)

1971년~현재: 한국과학기술원 교수
 1997년: 대한전자공학회 회장
 1990년~1991년: IEEE Korea MTT Chapter 회장
 1992년~현재: Microwave & Optical Technology Letters-Editorial Board Members
 1994년~현재 : International Union of Radio Science (URSI), Korea 회장
 1996년~1998년 : IEEE MTT-S Administrative Committee 집행위원
 [주 관심분야] 안테나, 전자파 산란, 전자파 역산란, 전파 전파