

급수전개된 기저함수를 갖는 모멘트방법에 의한 파수영역의 역산란 방법 : 잡음의 영향

최현철, 김세윤, 라정웅

正會員 崔 眩 金**, 金 世 潤**, 羅 正 雄***

A Spectral Inverse Scattering Technique by Using the Moment Method with Series-Expanded Basis Function : Noise Effect

Hyun Chul Choi*, Se Yun Kim**, Jung Woong Ra*** Regular Members

要 約

급수전개된 기저함수를 갖는 모멘트방법에 근거한 파수영역의 역산란 기법으로 재구성된 영상에서 잡음의 영향에 대해 연구하였다. 확장된 소영역에서의 전계를 푸리에 급수로 전개하고 재구성된 영상을 각 소영역 내에서 평균함으로써 개발된 파수영역의 역산란 방법의 이용시 재구성오차를 인가된 잡음보다 작게 줄일 수 있음을 알았다.

ABSTRACT

Noise effects on image profiles reconstructed by the spectral inverse scattering technique is studied based on moment method with series-expanded basis function. It is found that the Fourier series expansion to the field distribution and the averaging of the reconstructed profile in each enlarged cell provides an effective tool for the reduction of noise effects.

*경북대학교 전자·전기공학부

**한국과학기술연구원 정보전자연구부

***한국과학기술원 전기 및 전자공학과

論文番號 : 95287-0824

接受日字 : 1995年 8月 24日

I. 서 론

전자파 산란문제를 수치해석 방법으로 많이 푸는데 대표적인 방법으로 모멘트 방법⁽¹⁾⁻⁽²⁾이 있다. 최근 개발된 모멘트 방법을 이용한 공간영역에서의 역산란 과정은 정확한 역산란식 자체를 수치계산으로 풀 수 있도록 바꾼 것이므로 잡음이 없는 산란파로부터 원래의 영상을 복원시킬 수 있으나 잡음이 존재하는 경우 원래의 영상을 복원시키기 어렵다.⁽³⁾⁻⁽⁶⁾

모멘트 방법을 이용하기 위해서는 유전체 내부를 사용 파장의 십분의 일 이하로 잘게 나누어야 하는데,⁽¹⁾⁻⁽²⁾ 이 경우 영상 재구성을 위해서는 입사파의 파수(wavenumber)보다 훨씬 높은 공간주파수(spatial frequency) 정보도 필요하게 된다. 그렇지만 잡음의 크기가 산란파 신호에 비해 매우 적은 경우에도 푸리에 변환을 하여 공간주파수 영역에서 보면 잡음의 스펙트럼이 산란파의 스펙트럼보다 훨씬 넓다. 특히 주변 매질에서의 파수보다 높은 공간주파수 대역에서는 산란파는 지수함수적으로 감쇄하므로 이 대역에서의 산란파의 크기는 잡음의 스펙트럼 크기에 비해 매우 작아진다. 따라서 모멘트 방법을 이용한 역산란으로 구한 영상에서는 극히 작은 측정오차가 있더라도 파수이상의 공간주파수대의 엄청난 잡음이 더해지게 된다. 그러므로 모멘트 방법을 이용한 역산란 계산시 측정오차에 의한 영향을 줄이기 위한 여러가지 방안(regularization)들이 적용되었지만⁽⁴⁾⁻⁽¹⁰⁾ 역산란 계산자체가 공간주파수 영역에서 이루어지지 않기 때문에 적절한 방안을 찾지 못하고 있다.

최근 모멘트 방법을 공간주파수 영역에서 적용할 수 있도록 개선한 역산란 기법이 개발되었다. 공간영역에서는 역산란식이 Bessel함수와 같은 복잡한 형태로 산란파 측정위치, 기저함수, 소영역의 크기 및 위치 등의 변수가 혼합되어 표현되어 있으므로 잡음의 영향인 ill-posedness 특성을 살펴보기 힘들었으나, 파수영역의 역산란식에서는 관계변수들이 각각 분리된 형태로 표현되어 역산란 과정의 물리적인 해석 및 ill-posed 특성의 원인을 살펴볼 수 있었다.⁽¹²⁾⁻⁽¹³⁾

특히 파수영역에서는 모멘트 방법의 기저함수를 임의의 급수형태로 취하더라도 역산란 관계식의 유도에 어려움이 없음을 보인 바 있다.⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁶⁾ 잡음의 영향을 줄이기 위한 방안으로 급수형태의 기저함수를 갖는 파수영역에서 역산란 기법을 개발하였는데, 잡음이 없는 경우 2차

원 유전체의 유전율분포를 원래대로 재구성할 수 있음을 알았다.⁽¹⁷⁾⁻⁽²⁰⁾

본 논문에서는 급수전개된 파수영역의 역산란 기법으로 영상 재구성시 잡음이 영상에 미치는 영향과 이를 개선할 수 있는 방안을 연구하였다.

II. 역산란 이론

그림 1과 같이 z방향으로 분극된 평면파 $u'(x) = \hat{z} e^{-ik_0 x}$ 가 단면 S를 갖는 유전체 기둥에 입사하는 경우 전체 전계는 다음과 같은 적분방정식으로 표현된다.⁽¹⁾

$$u(x, y) = u'(x) - \frac{jk_0^2}{4} \iint_S dx' dy' [\epsilon(x', y') - 1] u(x', y') H_0^{(2)}(k_0 r) \quad (1)$$

여기서 k_0 는 유전체 외부영역의 파수(wave number)를 의미하고, $H_0^{(2)}$ 는 제 2종 Bessel 함수이다. 또한 $\epsilon(x', y')$ 는 유전체 단면내의 비유전율 분포를 의미한다. 본 논문에서는 시간의존함수를 $e^{j\omega t}$ 로 취하였는데, 실제 전자파의 표현식에서는 생략하였다.

식 (1)의 양변을 변수 y에 대해 푸리에 변환을 취하면 다음과 같은 복소 β 평면상의 즉, 파수영역의 적분방정식을 얻을 수 있다.⁽¹⁰⁾⁻⁽¹¹⁾

$$U(x, \beta) = U'(x, \beta) + F(x, \beta) I(\beta) \quad (2)$$

여기서 $U(x, \beta)$ 는 전체 $u(x, y)$ 를 y에 대하여 푸리에 변환하여 얻은 각스펙트럼(angular spectrum)을 나타내며, $F(x, \beta)$ 와 $I(\beta)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$F(x, \beta) = -\frac{jk_0^2}{2} \frac{\exp(\mp j\sqrt{k_0^2 - \beta^2} x)}{\sqrt{k_0^2 - \beta^2}} \quad (3)$$

$$I(\beta) = \iint_S dx' dy' [\epsilon(x', y') - 1] u(x', y') \exp(\pm j\sqrt{k_0^2 - \beta^2} x' + \beta y') \quad (4)$$

식 (4)의 적분식을 모멘트 방법을 적용하여 행렬식으로 변환하기 위해 소영역으로 분할하여야 한다. 필드 기저함수를 사용하는 경우 유전체 단면 S를 $0.1\lambda \times 0.1\lambda$ 이하의 크기를 갖는 소영역으로 나누는데, 이 경우 잡음의 영향에 의한 ill-posedness 특성이 심각하게 나타난다.⁽¹⁵⁾ 따라서 본 논문에서는 그림 2와 같이 M개의 확

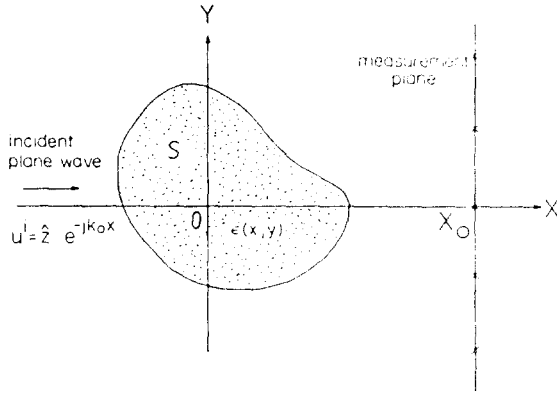


그림 1. 임의의 단면 S를 갖는 유전체 기둥
Fig. 1. Dielectric cylinder with arbitrary cross-section S.

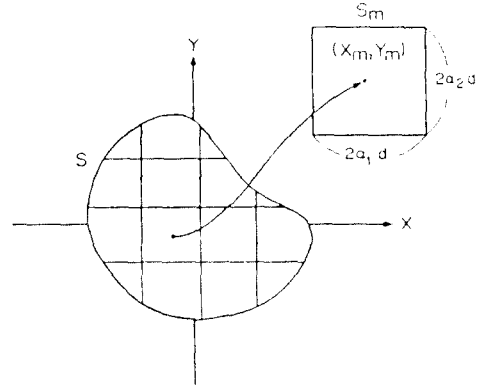


그림 2. M개의 확장된 소영역으로 단면 S 분할
Fig. 2. Cell discretization of cross-section S.

장된 소영역으로 나눈다.

여기서 임의의 m번째 소영역 S_m은 중심이 (x_m, y_m) 이고, x축 방향의 길이는 2a₁d, y축 방향으로는 2a₂d인 직사각형으로 취한다. 소영역 S_m의 크기가 크기 때문에 소영역내의 전계 u(x,y)를 상수로 볼 수 없게 되어 다음과 같은 푸리에 급수 형태의 basis를 갖는 급수 전개로 표시한다.⁽¹⁶⁾

$$u(x, y) = \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q u_{mpq} b_{p,q}(x, y), \text{ in } S_m \quad (5)$$

$$b_{p,q}(x, y) = \exp\{jp\pi(\frac{x-x_m}{L_1}) + jq\pi(\frac{y-y_m}{L_2})\} \quad (6)$$

p=q=0에 해당되는 일정한 전계성분과 p와 q의 값이 커지면서 고조파에 해당하는 성분의 함으로 표현된다. 이 때 기저함수의 갯수를 작게 취하여 각 소영역내의 전계분포와 비슷한 근사값을 줄 수 있도록 상수 L₁과 L₂의 값을 결정해야 하는데 이 값은 입사파, 유전체의 구조 및 매질 분포, 소영역의 크기 등 역산란 상황에 따라 정해져야 한다.⁽¹⁷⁾⁻⁽¹⁸⁾

식 (5)를 식 (4)에 대입하여 정리하면 I(β)는 다음과 같이 행렬식으로 쓸 수 있다.

$$I(\beta) = \sum_{m=1}^M G_m(\beta) \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (\epsilon_m - 1) u_{mpq} B_{p,q}(\beta) \quad (7)$$

여기서

$$G_m(\beta) = \exp(j\sqrt{k_0^2 - \beta^2} x_m + j\beta y_m) \quad (8)$$

$$B_{p,q}(\beta) = \frac{2 \sin \left[\left(\sqrt{k_0^2 - \beta^2} + \frac{p\pi}{L_1} \right) a_1 d \right]}{\sqrt{k_0^2 - \beta^2} + \frac{p\pi}{L_1}} \times \frac{2 \sin \left[\left(\beta + \frac{q\pi}{L_2} \right) a_2 d \right]}{\beta + \frac{q\pi}{L_2}} \quad (9)$$

이다.

식 (7)을 식 (2)에 대입하면 복소 β평면상에서의 전계 스펙트럼과 등가 유기전류를 관계지우는 선형방정식을 얻을 수 있으며, 이를 사용하여 유전체 내부의 비유전율 분포를 재구성하는 과정은 다음과 같다.^{(12) (16)} 첫째, 역산란 입력자료인 산란전계로부터 행렬역변환에 의해 등가유기전류의 계수인 u_{mpq}(ε_m-1)을 구한다. 둘째, 앞단계에서 구한 등가유기전류로부터 유전체 내부의 전계를 구할 수 있고, 이로부터 급수전개된 전계의 계수 u_{mpq}를 계산한다. 셋째, 앞에서 구한 등가유기전류 J(x,y)의 계수 (ε_m-1)u_{mpq}와 전계계수 u_{mpq}로부터 각 소영역내의 비유전율을 분포를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\epsilon_m(x, y) = \frac{J(x, y)}{u(x, y)} + 1 = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (\epsilon_m - 1) u_{mpq} b_{p,q}(x, y)}{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q u_{mpq} b_{p,q}(x, y)} + 1$$

소영역내의 유전율은 하나의 값을 가져야 하므로 다음과 같이 평균을 취한다.

$$\epsilon_m = \frac{\int \int_{S_m} \epsilon_m(x, y) dx dy}{\int \int_{S_m} dx dy} \quad (10)$$

이와 같은 평균효과에 의해 고주파성분의 잡음에 의한 역산란문제의 ill-posedness 특성을 줄일 수 있다.

Ⅲ. 수치계산

본 논문에서는 급수전개된 basis를 갖는 모멘트 방법을 파수영역에서 적용한 역산란 방법에서 잡음이 존재할 경우 미치는 영향 및 ill-posedness의 개선정도를 살펴 보기 위하여 실제 수치계산을 수행하였다. 실제 계산상의 편의를 위해 유전체를 그림 3과 같이 y축 방향으로 단층형태로 분포하고 있는 막대형 구조로 취하였다.

실제 잡음상황을 시뮬레이션하기 위하여 역산란 입력 자료인 잡음이 섞인 산란전계 U^* 를 다음과 같이 나타내었다.

$$U^* = U + U_n(n', n')$$

여기서 U 는 오차가 없는 정확한 산란전계로서 모멘트 방법을 사용한 산란과정에 의해 계산하였으며, U_n 은 잡

음전계로서 실수부인 n' 과 허수부인 n'' 은 각각 표준편차가 1이고 평균이 0인 가우시안 난수(Gaussian random value)이다.

본 수치계산에서 선택한 기본모형은 x축 방향으로 0.1λ , y축방향으로 2.4λ 의 길이를 갖는 막대형 유전체를 4개의 확장된 소영역으로 분할하였다. 즉 $M=4$, $d=0.1\lambda$, $a_1=1$, $a_2=4$ 로 취하고 각 소영역의 비유전율 값은 각각 1.1, 1.3, 1.5 및 1.2로 택하였다. x축 방향으로 길이가 작기 때문에 펄스 기저함수($P=0$)를 취하고 y축 방향으로 3개의 요소를 갖는 다중 기저함수($Q=1$)로 취하여 수치계산을 수행하였다. 역산란 입력자료인 산란전계는 유전체 기둥의 중심에서 0.3λ 떨어진 $x=x_0$ 선상에서 $\beta=0$ 을 중심으로 $\Delta\beta = \pm 0.33k_0$ 씩 24개의 β_1 을 취하여 이 스펙트럼 상에서 정확한 전계 $U(x_0, \beta_1)$ 을 수치해석으로 계산한 다음, 1% Gaussian random 잡음으로 더한 $U^*(x_0, \beta_1)$ 을 사용하였다.

산란전계에 1% Gaussian형 잡음이 존재하는 경우, 24개의 소영역으로 분할한 펄스 기저함수와 3개의 요소로 급수전개한 기저함수를 사용한 역산란 결과를 그림 4와 5에 각각 나타내었다. 펄스 기저함수를 사용한 경우

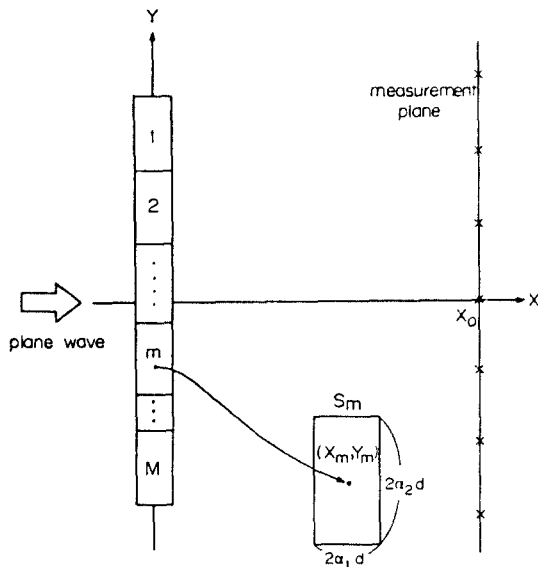


그림 3. 본 수치계산에 이용한 기본구조($d_1=0.1\lambda$, $D_2=0.6\lambda$, $M=4$)
Fig. 3. Test geometry of numerical simulation($d_1=0.1\lambda$, $D_2=0.6\lambda$, $M=4$).

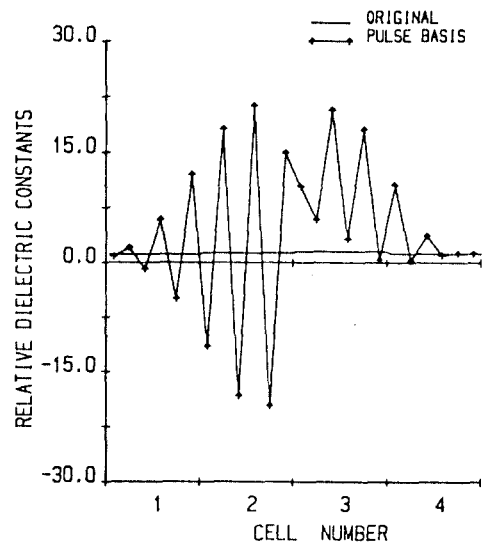


그림 4. 펄스 기저함수를 이용한 역산란 결과
Fig. 4. Reconstructed profiles by 24-cell discretization with pulse basis function.

그림 4에 주어진 바와 같이 최대 1300%의 오차를 가지고 진동하게 되어 원래의 유전율 분포와는 엄청나게 차이가 나는 ill-posed 특성을 보여준다.

본 논문에서 적용한 급수전개된 기저함수를 사용한 경우 그림 5와 같이 오차가 상당히 줄어들어 최대 30%의 오차를 갖는다. 이 사실은 역산란 문제에서 산란체의 분할을 작게 할수록 ill-posed 특성이 악화된다는 사실과 일치하며, 소영역을 크게 분할하고 소영역내의 전계를 급수전개로 표시함으로써 역산란 문제의 ill-posed 특성을 regularization 할 수 있음을 보여준다.

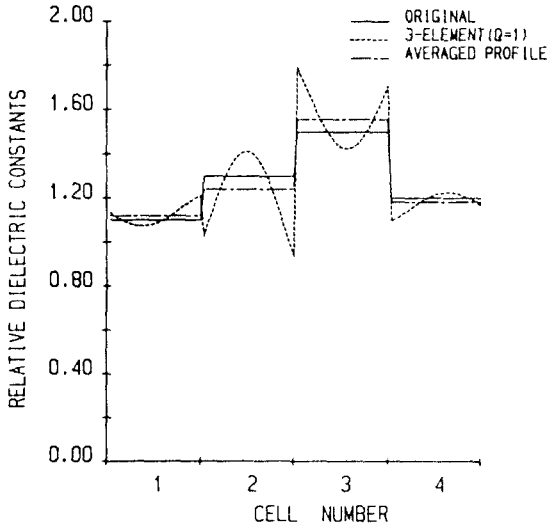


그림 5. 3개의 요소로 급수전개된 기저함수를 이용한 역산란 결과
Fig. 5. Reconstructed profiles with 3 element ($Q=1$).

그러나 소영역내의 전계를 급수전개의 함으로 표현할 때 전개계수를 유한하게 취하였으므로 소영역의 경계부근에서 원래의 전계분포와 오차를 갖게 되고, 이로 인해 재구성된 유전율 분포는 소영역의 경계부근에서 비교적 큰 오차를 갖게 된다. 식 (10)을 사용하여 소영역내에서 평균을 취한 경우, 그림 5에 주어진 바와 같이 4% 정도의 오차를 가진다. 잡음영향에 의한 고주파 성분의 오차가 평균효과에 의해 거의 상쇄되지만, 소영역의 경계부근에서 큰 오차를 가지므로 평균을 취해도 원래의 유전율분포와 차이가 난다. 이러한 오차를 더 줄이기 위

해서 평균을 취할 때 경계부근의 영향을 감소시키는 중앙합수를 도입하는 것이 필요함을 알 수 있으며, 이에 대해서는 V장에서 다루겠다.

IV. 역산란변수의 영향

그림 3에 주어진 유전체에서 유전율분포, 수신위치, 측정스펙트럼 간격, L_2 및 잡음의 크기등을 변화시킨 경우 유전율분포를 재구성하였으며, 각 계산결과에 물리적 의미와 타당성을 논하겠다.

1% Gaussian 잡음이 존재하는 경우, 각 소영역내의 유전율 분포가 기본형에 비해 변화가 작은 경우와 큰 경우에 대하여 재구성된 유전율 분포를 그림 6(a)와 6(b)에 나타내었다. 유전율 분포의 변화가 작은 경우 기본형에 비해 상대오차가 작으며 유전율 분포의 변화가 클수록 재구성된 유전율분포의 상대오차는 증가한다. 이는 유전율 정보는 유전율 분포의 변화가 클수록 파수영역에서 넓은 공간주파수 성분으로 구성되어 있는데, 유전체 외부에서 측정된 산란전계는 Green 함수가 저역통과 필터와 같아서 높은 공간주파수성분의 전계는 거의 잡음 성분이 된다. 따라서 높은 공간주파수 성분의 유전율정보에는 많은 오차가 생기게 되므로 유전율분포의 변화가 클수록 재구성된 유전율분포의 오차가 커지게 된다.

1% 잡음이 섞인 경우 수신위치 (x_0)의 변화에 따른 유전율분포의 재구성 결과를 그림 7에 나타내었다. 수신 위치가 기본형의 경우인 0.3λ 보다 가까운 0.1λ 와 먼 0.5λ 에 대한 역산란 결과, 측정위치가 멀어질수록 재구성 오차가 증가한다. 역산란 행렬식에서 보면 측정위치의 영향은 측정위치에 따라 일정한 비율로 변화하게 되어 행렬 그 자체에는 영향이 없으므로 잡음이 없는 경우는 수신위치의 영향이 거의 없었다. 그러나 잡음이 존재하는 경우 수신위치가 멀어질수록 잡음의 효과를 증폭시키게 되므로 높은 공간주파수 성분의 오차가 증가한다.

측정 스펙트럼의 간격 $\Delta\beta$ 가 기본형의 경우인 $0.33k_0$ 보다 큰 $0.41k_0$ 와 작은 $0.27k_0$ 로 취한 경우의 역산란 결과를 그림 8에 나타내었다. 측정 스펙트럼의 간격이 클수록 높은 공간주파수 성분까지 포함하여 계산해야 되므로 역산란 결과의 상대오차가 증가하였다. 또한 $\Delta\beta$ 의 값이 적은 경우 유전체 바깥쪽의 오차는 감소하는데 이는 잡음이 없는 경우의 결과와 일치한다. 그러나 $\Delta\beta$ 를 너무 작게 취하면 행렬요소간의 변화가 작게되어 행렬의

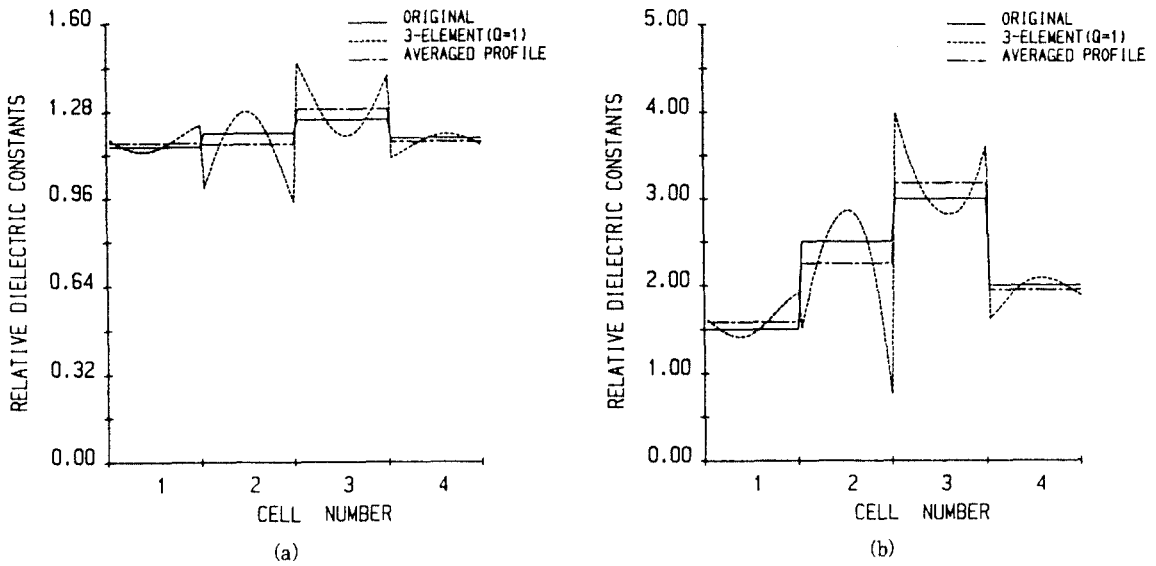


그림 6. 유전율 분포의 변화에 따른 역산란 결과
 (a) 변화가 작은 경우(비유전율의 최대값 : 1.25)
 (b) 변화가 큰 경우(비유전율의 최대값 : 3)

Fig. 6. Reconstructed profiles of 2 different permittivity distributions.
 (a) small variation(minimum value of relative permittivity : 1.25)
 (b) large variation(maximum value of relative permittivity : 3.0)

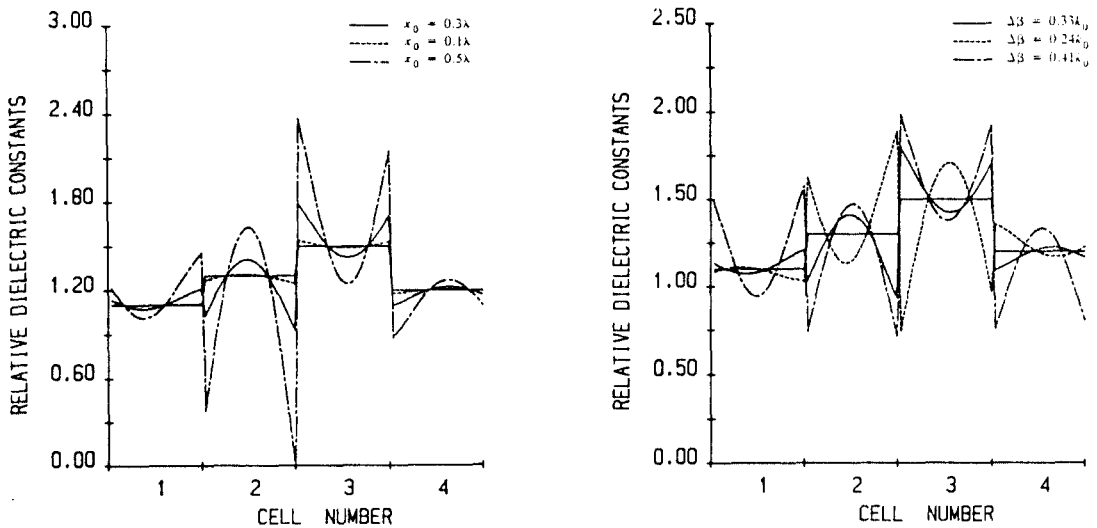


그림 7. 수신거리의 변화에 따른 역산란 결과
 Fig. 7. Reconstructed profiles for the distance of measurement line.

그림 8. 측정 스펙트럼 간격 변화에 따른 역산란 결과
 Fig. 8. Reconstructed profiles for the spectral sampling interval.

성질이 ill-conditioned matrix가 되므로 행렬 역변환 시 오차가 증가하게 된다.

전개함수의 조절요소인 L_2 의 변화에 따른 잡음의 영향을 살펴보기 위하여 $L_2=0.3\lambda$ 와 $L_2=1.0\lambda$ 인 경우의 역산란 결과를 그림 9에 보였다. L_2 가 작은 경우 실제의 전계변화보다 급수전개의 합으로 표현된 전계의 변화가 더 커지게 되어 소영역의 끝부분에서는 기본형보다 오차가 크지며, L_2 가 큰 경우 소영역의 끝에서 실제 전계변화를 따라가지 못하므로 재구성오차가 발생하지만 큰 영향을 미치지 못한다.

잡음의 크기 δ 가 기본형인 1%보다 작은 0.1%와 큰 2%의 오차가 섞인 경우의 역산란 결과를 그림 10에 보였다. 잡음수준이 0.1%의 경우 원래의 유전율분포를 거의 재구성할 수 있으며, 잡음수준이 증가할수록 재구성 오차가 커지며 잡음수준과 최대 재구성 오차는 거의 비례함을 알 수 있다.

V. 중량함수의 영향

III장에서 보인 바와 같이 잡음이 존재하는 경우 재구성된 유전율 분포는 각 소영역의 경계부근에서 큰 오차를 갖는다. 이는 역산란 계수를 소영역의 중심 부근에서

구하였으므로 경계부근에서 오차가 커지게 되며, 또한 소영역내의 전계를 유한한 급수의 합으로 표현할 때 발생하는 truncation 오차가 잡음으로 더해지기 때문이다. 이와 같은 오차를 줄이기 위해서는 평균을 취할 때 경계부근에서의 효과를 감소시키는 중량함수의 도입이 필요하며, 이 경우 소영역내의 유전율 ϵ_m 을 계산하는 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_m = \frac{\int \int_{S_m} \epsilon_m(x, y) u(x, y) dx dy}{\int \int_{S_m} u(x, y) dx dy} \tag{11}$$

여기서 $w(x, y)$ 는 중량함수로서 본 논문에서는 다음과 같이 정규분포 함수로 선택하였다.

$$u(x, y) = \exp\left(-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{12}$$

여기서 σ 는 정규분포의 표준편차를 나타낸다. 소영역 경계부근의 잡음의 영향을 regularization하기 위해서는 적절한 σ 의 선택이 요구되는데, $\sigma = 0$ 인 경우 소영역 중심의 재구성 값만을 나타내며 $\sigma = \infty$ 인 경우는 중량함수의 효과가 없이 식 (10)을 사용하여 평균을 취한 결과가 된다. 중량함수의 표준편차의 변화에 따른 유전율

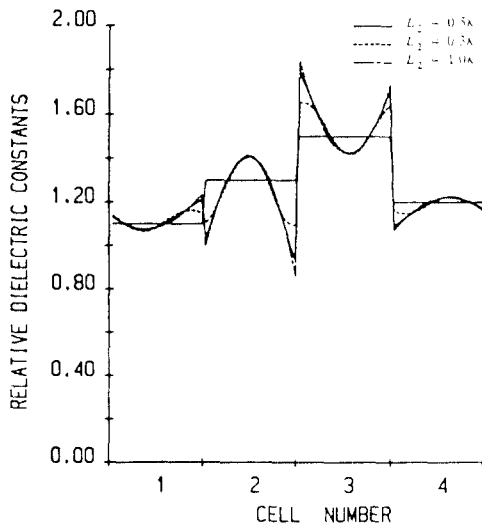


그림 9. 전개함수 L_2 의 변화에 따른 역산란 결과
Fig. 9. Reconstructed profiles for the period of the Fourier series expansion.

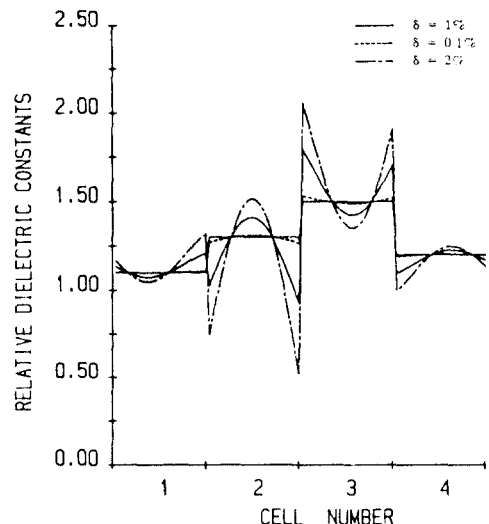


그림 10. 잡음수준의 변화에 따른 역산란 결과
Fig. 10. Reconstructed profiles according to the amplitude level of a Gaussian random noise.

분포의 재구성 오차를 그림 11에 나타내었다.

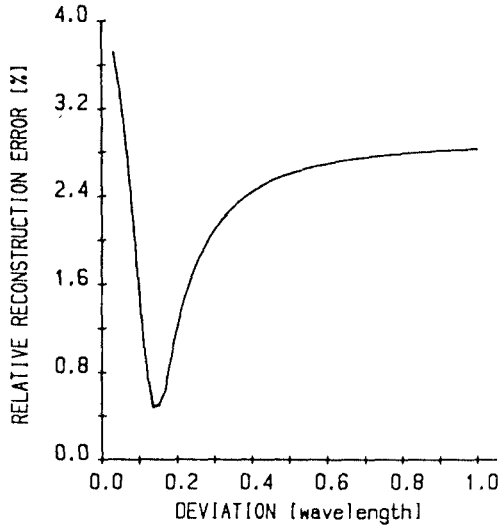


그림 11. 중량함수의 표준편차에 따른 역산란 오차의 분포
Fig. 11. Variation of averaged reconstruction error according to the deviation sigma of normal distribution.

$\sigma = 0.136$ 일 때 재구성 오차는 0.5%로 감소하므로 원래의 유전율분포를 거의 정확하게 재구성할 수 있다. 앞으로 적절한 중량함수를 적용한 regularization 방법에 대한 연구가 진행되어야 한다.

VI. 결 론

역산란 입력자료인 산란전계에 잡음이 존재하는 상황에 대해 급수전개된 기저함수를 갖는 모멘트 방법에 의한 파수영역의 역산란 방법을 적용시켜 수치계산으로 유전율분포를 재구성한 결과, 역산란 문제에서 항상 발생하는 ill-posedness를 개선할 수 있음을 확인하였다.

여러 역산란 변수들을 변화시키면서 잡음의 영향을 살펴본 결과 유전율 분포의 변화가 크거나, 산란전계의 수신위치가 멀리 떨어진 곳이거나, 측정스펙트럼과 전개함수의 값이 적합하지 않거나, 잡음수준이 클수록 잡음의 영향을 많이 받음을 알 수 있었다.

또한 유전체내의 전계분포를 유한한 급수의 합으로 표현함으로써 생기는 truncation에 의해 소영역 경계부

근에 큰 오차가 발생하는데 중량함수를 도입하여 평균을 취한 결과 잡음에 의한 ill-posed 특성을 거의 제거할 수 있었다.

앞으로 적절한 중량함수의 선택방법 및 filtering 효과에 의해 ill-posed 특성을 감소시키는 방법에 대한 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

1. J. H. Richmond, "Scattering by a Dielectric Cylinder of Arbitrary Cross Section Shape," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-13, pp.334-341, 1965.
2. R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Method*, Macmillan Company, N.Y., 1968.
3. M. J. Hagmann, O. P. Gandhi, and D. R. Ghotgaonkar, "Application of Moment Methods to Electromagnetic Biological Imaging," *IEEE MTT-S Int. Symp. Dig. (Los Angeles, CA)*, p.482, Jun. 1981.
4. T. H. Yoon, S. Y. Kim, and J. W. Ra, "Reconstruction of Distributed Dielectric Objects Using Low-Frequency Wave," *IEEE GRS Int. Symp. Dig. (Munich, Germany)*, pp.31-34, Jun. 1982.
5. S. A. Johnson and M. I. Tracy, "Inverse Scattering Solutions by a Sinc Basis, Multiple Source, Moment Method, Part I : Theory," *Ultrasonic Imaging*, pp.361-375, 1983.
6. 김세운, 이재민, 나정용, "모멘트방법을 이용한 새로운 역산란 계산방법. I : 이론," *전자공학회 논문지*, 제 25권, 제 3호, pp.6-14, 1988.
7. 김세운, 윤태훈, 나정용, "모멘트방법을 이용한 새로운 역산란 계산방법. II : 잡음의 영향," *전자공학회 논문지*, 제 25권, 제 3호, pp.15-24, 1988.
8. M. M. Ney, A. A. Smith, and S. S. Stuchly, "A Solution of Electromagnetic Imaging Using Pseudoinverse Transformation," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. MI-3, pp.155-162, 1984.
9. T. C. Guo and W. W. Guo, "Computation of

Electromagnetic Wave Scattering from an Arbitrary Three-Dimensional Inhomogeneous Dielectric Object." IEEE Trans. Magn., vol. MAG-25, pp.2872-2874, 1989.

10. S. Caorsi, G. L. Gagnani, and M. Pastorino, "A Multiview Microwave Imaging System for Two-Dimensional Penetrable Objects," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-39, pp.845-851, 1991.

11. M. Slaney, A. C. Kak, and L. Larsen, "Limitations of Imaging with First-Order Diffraction Tomography," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-32, pp. 860-874, Aug. 1984.

12. S. Y. Kim, J. M. Lee, and J. W. Ra, "Electromagnetic Imaging of Complex Permittivity Profiles by Moment Method in the Spectral Domain," IEEE AP-S Int. Symp. Dig.(Syracuse, NY), pp.786-789, Jun. 1988.

13. J. M. Lee, S. Y. Kim, and J. W. Ra, "A Spectral Inverse Technique for Reconstruction of Complex Permittivity Profiles," Electron. Lett., vol. 24, pp. 556-558, 1988.

14. H. C. Choi, S. Y. Kim, and J. W. Ra, "Electromagnetic Imaging of Permittivity Profiles by an Improved Spectral Inverse Technique," IEEE AP-S Int. Symp. Dig(San Jose, CA), pp.104-107, Jun. 1989.

15. H. C. Choi, S. Y. Kim, and J. W. Ra, "Regularization of Permittivity Profiles Reconstructed by a Spectral Inverse Scattering Scheme," Microwave Opt. Tech. Lett., Vol. 2, pp.26-29, 1989.

16. S. Y. Kim, H. C. Choi, J. W. Ra, and S. Y. Lee, "Electromagnetic Imaging of 2-D Inhomogeneous Dielectric Objects by an Improved Spectral Inverse Technique," IEEE Trans. Magn., vol. MAG-26, pp.634-637, 1990.

17. 최현철, 김세운, 나정용, "급수전개된 Basis 함수를 갖는 모멘트 방법에 의한 파수영역의 역산란 방법, I부: 이론," 전자공학회 논문지, 제25권, 제11호, pp.1408-1415, 1988.

18. 최현철, 김세운, 나정용, "급수전개된 Basis 함수를 갖는 모멘트 방법에 의한 파수영역의 역산란 방법, II부: 수치계산," 전자공학회 논문지, 제25권, 제11호, pp.1398-1407, 1988.

19. S. Y. Kim, H. C. Choi, J. M. Lee and J. W. Ra, "Inverse Scattering Scheme Based on the Moment Method in the Spectral Domain, Part I: Theory," Ultrasonic Imaging, vol. 14, pp.16-28, 1992.

20. H. C. Choi, S. Y. Kim, and J. W. Ra, "Inverse Scattering Scheme Based on the Moment Method in the Spectral Domain, Part II: Numerical Simulation," Ultrasonic Imaging, vol. 14, pp.29-39, 1992.



崔 眩 鎭(Hyun Chul Choi)정회원

1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1984년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
 1990년 3월~현재 : 경북대학교 전자·전기공학부 조교수
 *주관심 분야 : 전자파 역산란, 마이크로파 시스템, EMI/EMC 등

金 世 淵(Se Yun Kim)

정회원

1955년 3월 22일생
 1978년 2월 : 서울대학교 공과대학 전기공학과(공학사)
 1980년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1984년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
 1984년 3월~현재 : 한국과학기술연구원 정보전자연구부 책임연구원

*주관심 분야 : 파동의 복사 및 회절, 전자파 Imaging, 안테나 설계, EMI/EMC 기술



羅正雄(Jung Woong Ra) 정희원

1959년~1963년 : 서울대학교 공과대
학 전자공학과 전자공학 학사

1965년~1967년 : Polytechnic
Institute of Brooklyn 전기
물리 석사

1965년~1967년 : Polytechnic Institute of Brooklyn 전기물
리 박사

1971년~현재 : 한국과학기술원 교수

1982년~1983년 : 미국 National Bureau of Standards(현재
NIST-미국 국립 표준연구소) 초청과학자

1984년~1988년 : 한국방송공사 이사

1990년~1991년 : 한국과학기술원 교무처 및 교학처 처장

1990년~1991년 : IEEE 한국 MTT Chapter 회장

1992년~1993년 8월 : 광주과학기술원 설립추진단 단장

1992년~현재 : Microwave & Optical Technology Letters
편집위원

1993년~현재 : 방송위원회 위원

1994년~1995년 10월 : Asia Pacific Microwave Conference
'95 위원장

1994년~현재 : 방송공학회 회장

1994년 ~현재 : International Union of Radio
Science(URSI) Korea 회장

1996년~현재 : 대한전자공학회 차기('97) 회장

1996년~현재 : IEEE MTT-S Administrative Committee
Member

※주관심 분야 : 전자파의 산란, 회절 및 역산란, 특히 전자파를
사용한 지하구조 탐사 연구, 안테나, 마이크로파
부품 및 시스템 개발