

論文96-33B-2-7

다중주파수 시간조화신호를 사용한 도체기둥의 초고주파 incoherent 영상 : Part II - 도체기둥의 초고주파 incoherent 영상

(Microwave Incoherent Imaging of a Conducting Cylinder by using Multi-Frequency Time-Harmonic Field : Part II - Microwave Incoherent Imaging of a Conducting Cylinder)

康辰變*, 羅正雄**

(Jin Seob Kang and Jung Woong Ra)

요 약

본 연구의 전편 논문에서는 도체기둥으로부터 산란된 시간조화신호를 주파수 평균하여 도체기둥의 incoherent 전계전력패턴을 얻었다. 본 논문에서는 원형회전 측정구조에서 측정된 incoherent 전계전력패턴을 영상재현하려는 영역에 역투시하여 도체기둥의 incoherent 영상을 얻었다. 이 영상재현법의 타당성을 보이 기 위해 도체 원기둥과 타원기둥의 영상을 재현했으며, 좋은 영상을 얻기 위한 측정조건을 조사했다.

Abstract

In the previous paper of this study, an incoherent intensity pattern of a conducting cylinder is obtained by averaging out the multi-frequency intensities of the time-harmonic fields scattered from this cylinder. In this paper, an incoherent imaging of a conducting cylinder is obtained via the back-projection of the incoherent intensity patterns calculated from the circular rotational measurement configuration. This imaging method is validated by imaging a conducting circular and a conducting elliptic cylinder and the measurement conditions to get better image are investigated.

I. 서 론

*正會員,
(Univ. of Illinois at Urbana-Champaign Dept. of Elec. and Computer Eng.)

**正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Korea Advanced Institute of Science and Technology of Dept. Elec. Eng.)

接受日字: 1995年8月14日, 수정완료일: 1996年1月22日

전자파 역산란이란 미지의 물체에 전자파를 입사시켜 산란된 전자파로부터 물체의 물리량(유전율, 투자율 및 반사계수 등)을 알아내는 것이다. 그 중에서 도체의 역산란은 측정된 산란파로부터 도체의 모양을 재현하는 것으로 유전체에 비해 산란현상이 간단하므로 역산란의 물리적 이해를 위해 많은 연구가 되어 왔다. 전자파가 도체에 입사되면 도체표면에는 경계조건을 만족

시키기 위해 유기전류가 흐르게 되며, 도체에 의한 산란파는 이 유기전류에 2차원 자유공간 Green 함수를 곱한 후 도체표면을 따라 적분하여 얻을 수 있다. 유기전류가 입사파와 산란파의 합인 총전계의 함수이고 산란파가 미지의 물리량이므로, 도체의 모양을 재현하기 위해서는 비선형 적분방정식을 풀어야 한다. 현재 사용되는 도체기둥의 역산란방법에는 비선형 산란적분방정식의 해법에 따라 근사기법과 반복계산기법을 사용하는 방법이 있다.

근사기법을 사용한 영상법에서는 물리광학 및 원거리 근사를 사용하여 원거리에서 측정된 산란파와 도체의 모양함수 사이에 푸리에 변환관계가 있게 한 후, 측정된 산란파를 파수영역에서 역푸리에 변환하여 도체의 모양을 얻는다^[11-13]. 이 방법은 물리광학근사가 적용 가능한 즉, 도체의 크기가 파장에 비해 큰 경우에만 사용이 가능하므로, 저주파영역에서 사용하면 열화된 영상을 얻게 된다.

반복계산기법을 사용한 영상법에는 도체의 모양을 모드함수로 전개하고, 측정된 bistatic scattering cross section을 반복계산기법인 Newton-Kantorovich 알고리즘의 입력자료로 사용하여 모드함수의 계수를 구함으로써 산란체의 모양을 재현하는 방법^[4]이 있다. 그러나 이 방법은 위상정보를 사용하지 않기 때문에 도체의 모양을 정확하게 재현하는데는 한계가 있다. 한편 잡음에 의한 ill-posedness를 해결하기 위해 기존의 영상법에 입사파 다중입사 및 pseudo-inverse 방법을 사용하여 도체의 모양을 재현하는 방법도 있다^[5]. 이들 방법에서는 도체의 위치를 먼저 알아야 모드함수를 각도에 대한 단가(single-valued) 함수로 전개할 수 있으므로 산란체의 영상을 얻기 위해서는 도체의 중심과 같은 사전정보가 필요하며, 반복계산과정에 local minima가 존재하므로 global minimum으로 수렴하는데는 한계가 있다. 최근에 이 두가지 문제점을 해결하기 위해 원거리에서 측정된 산란파의 각 스펙트럼을 개선된 Newton 알고리즘의 입력자료로 사용하여 도체의 모양을 재현하는 방법이 개발되었다^[6]. 반복계산기법을 이용한 영상법에서는 모멘트방법을 사용하여 산란파를 계산하는데 이를 위해서는 행렬의 역변환이 필요하다. 따라서 이 영상법은 행렬의 크기가 작아 역변환이 가능한 작은 도체에 대해서만 사용이 가능하다.

본 논문에서는 전편 논문^[7]에서 설명된 다중 주수

를 사용하여 얻은 간섭무늬가 제거된 incoherent shadow 전계전력패턴을 사용해서 도체기둥의 incoherent 영상을 재현할 수 있는 방법을 제시했다. 위상특성이 시간에 대해 변하지 않는 시간조화 평면파가 도체기둥에 입사되면, 입사파 진행방향에서 측정된 전계전력패턴에는 서로 다른 전파경로를 가진 입사파와 산란파에 의해 간섭무늬가 나타난다. lit 영역에서 전계전력은 입사파 전력을 중심으로 진동하지만, shadow 영역에서는 입사파 전력에 비해 작은 값을 중심으로 lit 영역에 비해 작은 진폭으로 진동한다. 이들 간섭무늬의 주기는 시간조화 신호원의 주파수에 의해 결정되므로 주파수를 바꾸어 가며 각 주파수에서 얻은 전계전력패턴들을 평균하면, 주기가 다른 간섭무늬들이 서로 상쇄되어 진동폭이 감소하게 되며 만약 충분히 넓은 주파수 대역폭을 사용하면 간섭무늬를 완전히 제거할 수 있다^[7,8]. 따라서 다중 주파수를 사용하여 얻은 평균 전계전력패턴에는 lit 영역에서는 평균 전계전력이 입사파 전력과 비슷하고 shadow 영역에서는 입사파 전력에 비해 작은 값을 가지는 간섭무늬가 제거된 incoherent shadow 전계전력패턴이 나타난다. 본 논문에서는 원형회전 측정구조에서 다중 주파수를 사용하여 얻은 incoherent shadow 전계전력패턴을 영상재현하려는 영역에 역투시하여 도체기둥의 incoherent 영상을 재현했다^[8].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 incoherent shadow 전계전력패턴을 역투시하여 도체의 영상을 얻게 되는 원리 및 방법을 소개했다. Incoherent shadow 전계전력패턴을 역투시하여 산란체의 영상을 얻게 되므로, 역투시되는 전계전력패턴으로부터 재현될 영상의 질을 예측할 수 있다. 따라서 III장에서는 incoherent shadow 전계전력패턴의 측정조건(주파수 및 측정거리)에 대한 존성을 조사해서 좋은 영상을 얻기 위한 조건을 구했다. IV장에서는 II장에서 소개된 영상재현법을 사용해서 도체 원기둥 및 타원기둥의 영상을 재현했으며, V장에서 결론을 맺었다.

II. 영상재현 원리 및 방법

전계전력패턴을 측정하는 방법으로는 입사파 진행방향에 대해 수직인 측정선상에서 입사각이 변함에 따라 측정선도 같은 방향, 같은 양만큼 회전하면서 전계전력을 측정하는 원형회전 측정구조를 생각해 보았다(그림

1). 입사각을 변화시키며 얻은 incoherent shadow 전계전력패턴을 영상재현하려는 영역에 역투시하면, 도체 위치로는 전계전력이 입사파 전력보다 작은 shadow 영역 패턴이 역투시된다. 만약 영상재현하려는 영역을 작은 cell들로 나누고, 각 입사각에서 얻은 incoherent shadow 전계전력패턴을 입사파의 전파경로상에 있는 cell에 계속 더해 준다면, 도체 영역내 cell들에는 주위 영역의 cell들에 비해 작은 값들이 저장된다. 따라서 각 cell들에 저장된 전계전력 분포로부터 도체 기둥의 영상을 얻을 수 있다.

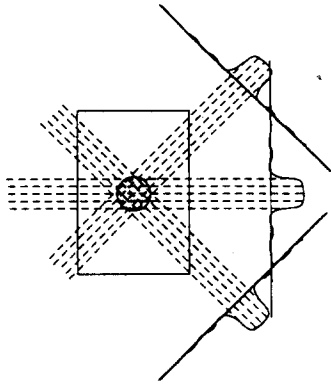


그림 1. 원형회전 측정구조에서 도체기둥에 의해 산란된 incoherent shadow 전계전력패턴의 역투시

Fig. 1. Back projections of the incoherent shadow intensity patterns scattered from a conducting cylinder in the circular rotational measurement configuration.

원형회전 측정구조에서 incoherent shadow 전계전력패턴을 입사각을 바꾸어 가며 역투시하여 도체 기둥의 영상을 재현하는 과정은 다음과 같다. 이 측정구조에서는 x, y 축보다는 그들을 평면파 입사각 ϕ_i 만큼 회전시킨 좌표축을 사용하는 것이 편리하므로, 편의상 회전시킨 좌표축을 각각 u', v' 라 정의하였다(그림 2).

Step 1 사용할 주파수 대역 (f_m, f_n)와 주파수 갯수 N 을 정하고, 정한 대역폭을 같은 간격으로 $N-1$ 등분하여 사용할 N 개의 주파수 $f_k(k=1,2,\dots,N)$ 을 정한다.

Step 2 영상재현하려는 영역을 한변의 길이가 d 인 정사각형 cell로 x, y 방향으로 각각 n_x, n_y 개로 나눈다. 그리고 각 cell의 값을 영으로 초기화한다.

Step 3 각 입사각 $\phi_i(i=1,2,\dots,M)$ 에 대해 측정점의

위치 (u', v')를 정한다($i=1,2,\dots,L$). 이때 측정선 v' 에서 측정점 간격 $\Delta v'(=v'_i-v'_{i-1})$ 는 정사각형 cell의 한변의 길이 d 보다 작거나 같게 한다.

Step 4 i 번째 입사각 (ϕ_i)의 i 번째 측정점 (u', v')에서 전계 $E(f_k)$ 를 N 개의 주파수에서 측정한 후, 다음 유탄급수식을 사용해서 주파수평균 전계전력 I_{ave} 를 계산한다.

$$I_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N E(f_k)E^*(f_k).$$

여기서 *는 공액복소수를 의미한다.

Step 5 m 번째 행의 cell중에서 측정점 (u', v')을 지나는 입사파의 전파경로와 cell 중심 (x_{mn}, y_{mn})과의 거리 (D'_{mn})가 가장 가까운 cell에 I_{ave} 값을 합하고, 합한 회수를 기억시킨다. 이 과정을 모든 행에 대해 수행한다($m=1,2,\dots,n_x$).

Step 6 측정점을 측정선상에서 같은 간격($\Delta v'$)으로 이동시키며 모든 i 에 대해 Step 4, Step 5을 반복 수행한다($i=1,2,\dots,L$).

Step 7 모든 입사각 $\phi_i(i=2,3,\dots,M)$ 에 대해 Step 4에서 Step 6까지의 과정을 반복 수행한다.

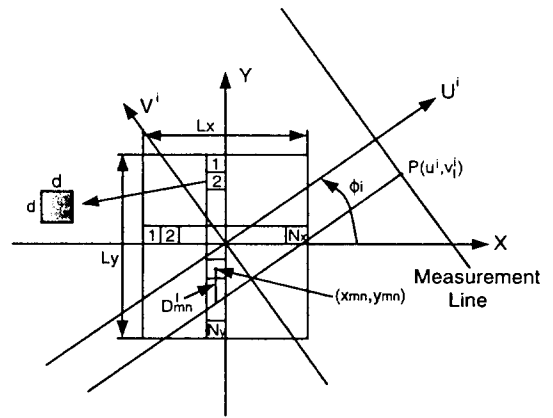


그림 2. 원형회전 측정구조에서 도체기둥의 영상재현법

Fig. 2. Imaging method for a conducting cylinder in the circular rotational measurement configuration.

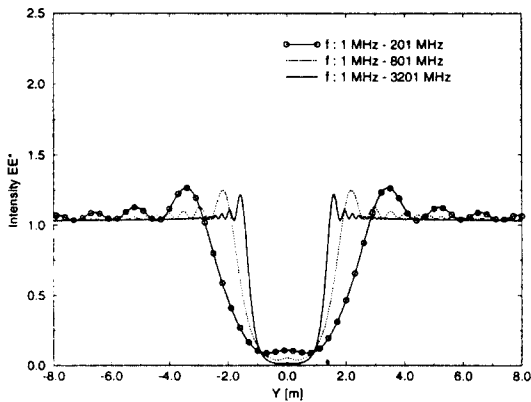
Step 8 영상재현하려는 영역의 중앙부분이 주위 영역에 비해 측정값이 가산되는 횟수가 많으므로, 이 효과를 평균시키기 위해 각 cell에 저장된 모든 전계전력 값을 역투영된 회수로 나눈다.

Incoherent shadow 전계전력패턴을 역투시하여 산란체의 영상을 얻는 이 방법은 실제 상황에서 다음과 같은 장점이 있다. 첫째로 영상재현의 입력자료로 산란파가 아니라 산란파와 입사파의 합인 총전계가 사용된다는 점이다. 전계 측정시 수신안테나에는 산란파가 아니라 총전계가 측정되므로, 산란파를 영상재현 자료로 사용하는 기존의 방법들^{[1]-[16]}에서는 측정된 총전계에서 입사파를 빼서 산란파를 얻는 과정이 필요하다. 경우에 따라서는 매질내의 산란체를 제거하고 입사파를 측정하기 힘들 때가 있으므로, 총전계를 영상재현의 입력자료로 사용한다는 것은 큰 장점이 된다. 둘째로 영상재현의 입력자료로 전계전력이 사용되므로 ($I = EE^* = |E|E$), 전계의 위상정보는 필요하지 않으며 진폭정보만 필요하다는 점이다. 영상재현의 입력자료로 전계의 진폭정보뿐만 아니라 위상정보도 필요한 경우^{[1]-[3], [5, 6]}에는 전계측정시스템의 위상교정(calibration)과정이 추가로 필요하다. 셋째로 측정된 전계를 산술평균하여 영상재현 자료로 사용하므로, 전계 측정시 발생할 수 있는 측정잡음의 영향을 적게 받는다. 넷째로 기존의 반복계산기법을 이용한 영상법^[4, 5]과는

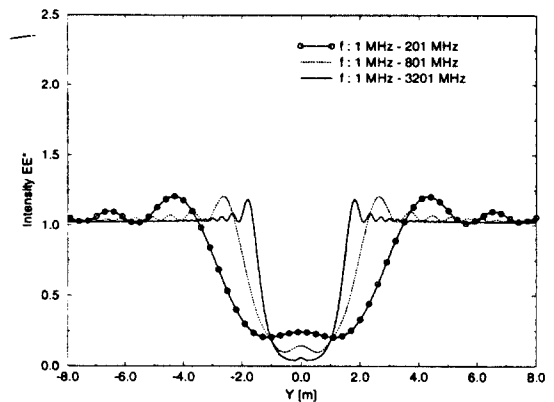
달리 산란체의 영상을 얻기 위한 산란체의 사전정보는 필요치 않으며, 영상을 얻는 과정에서 행렬의 역변환과정이 없으므로 파장에 비해 큰 산란체의 영상을 얻는데 사용할 수 있다. 다섯째로 측정된 전계를 산술평균하여 얻은 incoherent shadow 전계전력패턴을 역투시하여 산란체의 영상을 얻을 수 있으므로, 복잡한 신호처리과정을 거치지 않고 간단한 산술계산만으로 짧은 시간내에 영상을 재현할 수 있다.

Ⅲ. 좋은 영상을 얻기 위한 조건들

보다 좋은 영상을 얻기 위해서는 평균 전계전력패턴에서 간섭무늬 진동폭 및 shadow 영역의 평균 전계전력이 가능한한 작고 shadow 영역의 폭이 산란체 크기에 가까워야 하므로, 이 장에서는 그러한 전계전력패턴을 얻기 위한 측정조건을 구했다. 설명을 위한 수치계산에서는 비유전율이 2인 유전체 매질내에 있는 반지름 (a)이 1m인 도체 원기둥에 전계가 축방향으로 분극된 단위크기의 평면파가 입사되었을 때, 입사파 진행방향에서 해석적인 해^[9]를 이용해 전계전력을 계산했다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 주파수 대역이 (1 MHz, 201 MHz), (1 MHz, 801 MHz), (1 MHz, 3201 MHz), 주파수 간격이 10 MHz일 때, 비유전율이 2인 경우에 $x_0 = 4m$ 에서 측정된 반지름이 1 m인 도체 원기둥의 평균 전계전력패턴. (b) 주파수 대역이 (1 MHz, 201 MHz), (1 MHz, 801 MHz), (1 MHz, 3201 MHz), 주파수 간격이 10 MHz일 때, $x_0 = 8m$ 에서 측정된 도체 원기둥의 평균 전계전력패턴

Fig. 3. (a) Average intensity patterns scattered from the conducting circular cylinder of 1 meter radius in a dielectric medium of $\epsilon_r = 2$ at $x_0 = 4m$ for the frequency band of (1 MHz, 201 MHz), (1 MHz, 801 MHz), and (1 MHz, 3201 MHz) by the interval of 10 MHz and (b) average intensity patterns scattered from the conducting circular cylinder at $x_0 = 8m$ for the frequency band of (1 MHz, 201 MHz), (1 MHz, 801 MHz), and (1 MHz, 3201 MHz) by the interval of 10 MHz.

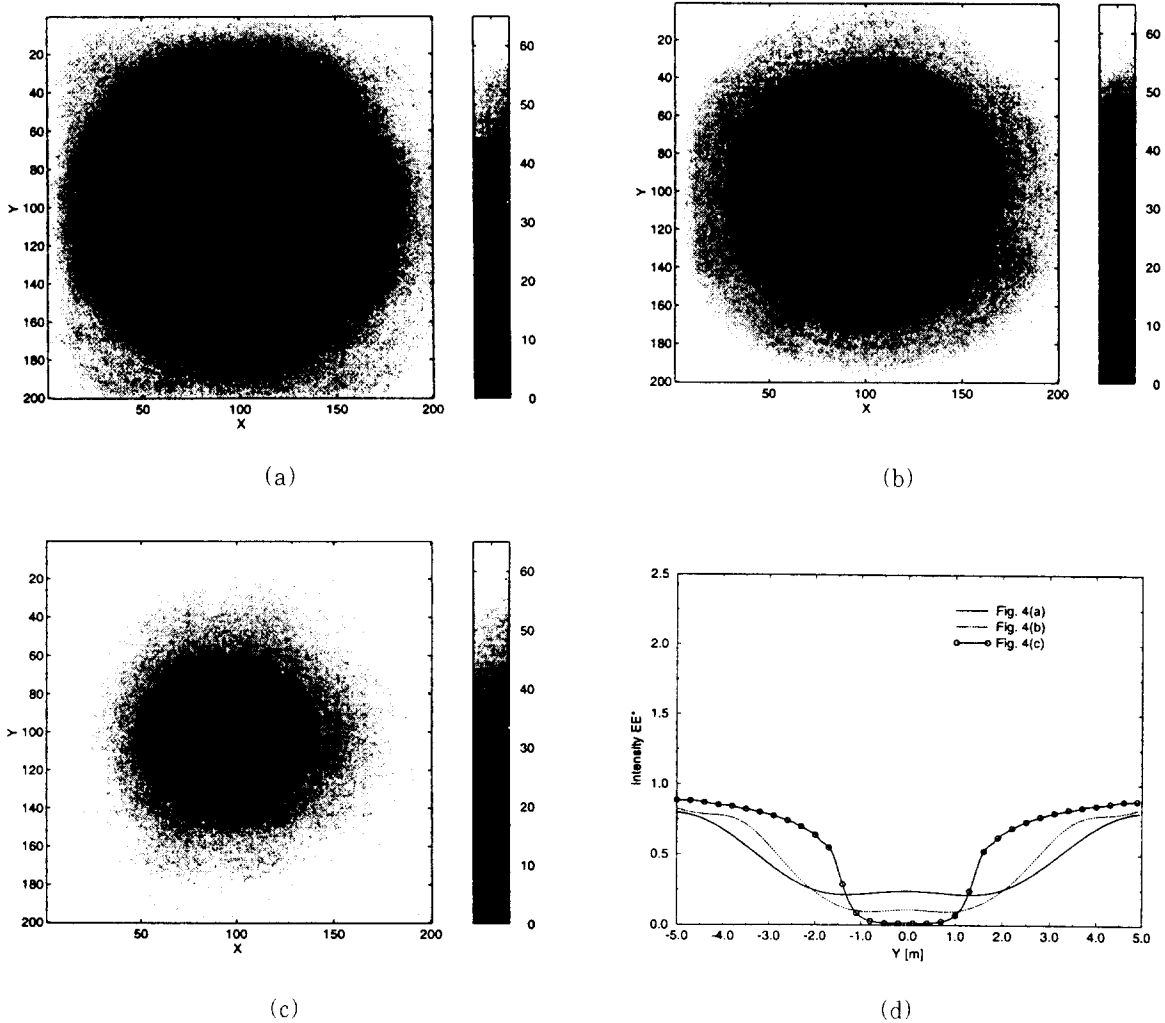


그림 4. (a) 원형회전 측정구조에서 72개 입사각을 사용하는 경우에 주파수 대역이 (1 MHz, 201 MHz), 주파수 간격이 10 MHz, 비유전율이 2일 때 $x_0=8\text{m}$ 에서 측정된 평균 전계 전력패턴으로부터 얻은 반지름이 1m인 도체 원기둥의 incoherent 영상, (b) 주파수 대역이 (1MHz, 201 MHz), 주파수 간격이 10 MHz일 때, $x_0=4\text{m}$ 에서 측정된 평균 전계전력패턴으로부터 얻은 도체 원기둥의 incoherent 영상, (c) 주파수 대역이 (1MHz, 3201 MHz), 주파수 간격이 10MHz일 때, $x_0=4\text{m}$ 에서 측정된 평균 전계전력패턴으로부터 얻은 도체 원기둥의 incoherent 영상, (d) incoherent 영상 그림 4(a), (b), (c)의 단면 전계전력패턴

Fig. 4. (a) Incoherent image of the conducting circular cylinder of 1 meter radius in a dielectric medium of $\epsilon_r=2$ obtained from the average intensity patterns measured at the distance of $x_0=8\text{m}$ for the frequency band of (1MHz, 201 MHz) by the interval of 10 MHz in the circular rotational configuration with 72 incident plane waves, (b) incoherent image of the conducting circular cylinder obtained from the average intensity patterns measured at the distance of $x_0=4\text{m}$ for the frequency band of (1 MHz, 201 MHz) by the interval of 10 MHz, (c) incoherent image of the conducting circular cylinder obtained from the average intensity patterns measured at the distance of $x_0=4\text{m}$ for the frequency band of (1 MHz, 3201 MHz) by the interval of 10MHz, and (d) their cross-sectional intensity patterns of incoherent images Fig 4(a), (b), and(c).

$x_0 = 4\text{m}$ 에서 사용하는 주파수 대역의 시작주파수 (f_a)가 1 MHz일 때 주파수 대역폭을 증가시키면서 평균 전계전력패턴을 계산했다(그림 3(a)). 선택된 대역내에서는 주파수를 10 MHz씩 증가시키면서 전계를 계산했다. 사용하는 주파수 대역폭이 넓어지면, 간섭무늬 진동폭 및 shadow 영역에서 평균 전계전력이 감소하고 shadow 영역폭이 감소하여 산란체 크기로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 도체기둥으로부터 측정거리에 대한 incoherent shadow 전계전력패턴의 의존성을 알기위해, 같은 주파수조건에서 측정거리를 증가시켜 ($x_0 = 8\text{m}$) 평균 전계전력패턴을 계산했다(그림 3(b)). 측정거리가 도체기둥에 가까울수록 회절과 도체표면을 따라 돌아오는 길이가 증가하여 회절과 크기가 감소하게 되므로 shadow 영역에서 평균 전계전력이 감소하며, 영역폭이 산란체 크기로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 따라서 좋은 영상을 얻기 위해서는 shadow 영역에서 평균 전계전력이 입사파전력에 비해 가능한한 작고, 영역폭이 도체크기에 가까워야 하므로, 이런 incoherent shadow 전계전력패턴을 얻기 위해서는 보다 넓은 주파수 대역폭을 사용해야 하고 좁더 산란체에 근접해서 전계전력을 측정해야 한다.

IV. 도체 기둥의 영상재현 결과

이 장에서는 우선 원형회전 측정구조에서 한번의 길이가 10 m인 정사각형 영역($-5\text{m} < x, y < 5\text{m}$) 중앙에 있는 반지름이 1 m인 도체 원기둥에 평면파가 입사되었을 때 얻은 평균 전계전력패턴(그림 3)을 사용해서 II 장에서 소개한 알고리즘으로 산란체의 영상을 재현했다. x 및 y 방향 cell 갯수 n_x, n_y 는 각각 200, 200으로 하였으므로 정사각형 cell의 한번 길이(d)는 5 cm이다.

$x_0 = 8\text{m}$ 에서 주파수 대역이 (1 MHz, 201 MHz) 일 때 얻은 평균 전계전력패턴을 영상재현하려는 영역에 입사각을 0° 에서 360° 까지 5° 씩 증가시키며 역투시하여 산란체의 영상을 재현했다(그림 4(a)). 산란체의 영상은 각 cell에 저장된 전계전력 값중에서 최대값, 최소값을 먼저 구한 후, 그 사이 전계전력 값을 64 등분하여 명암으로 표현하여 얻었다. 산란체에 대한 사전 정보를 사용하지 않고도 원점에 대해 대칭인 원형 영상이 재현되었으며, 도체기둥이 있는 영역이 최소값으

로 표시되어 주위 영역으로부터 쉽게 구별되고 있다. 측정거리가 8 m에서 4 m로 감소하고 주파수 대역이 (1 MHz, 201 MHz)에서 (1 MHz, 3201 MHz)로 넓어졌을 때 얻은 평균 전계전력패턴을 역투시하여 도체기둥의 영상을 재현했다(그림 4(b), (c)). 측정거리가 감소하고 주파수 대역이 넓어지면 역투시되는 평균 전계전력패턴에서 shadow 영역의 전계전력이 감소하고 shadow 영역폭이 산란체 크기로 수렴하므로 예상대로 산란체에 보다 가까운 영상을 얻을 수 있었다.

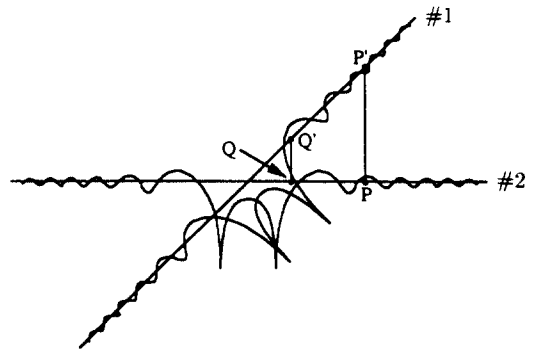


그림 5. 다른 입사각으로 역투시되는 평균 전계전력패턴의 중첩

Fig. 5. Superposition of average intensity patterns to be backprojected with different incident angle.

역투시되는 평균 전계전력패턴과 역투시로부터 얻은 영상의 단면을 비교해 보면, 역투시 영상재현법의 특징을 알 수 있다. 영상이 재현되는 과정에서 shadow 영역폭이 증가하므로(그림 3, 4(d)), 이 영상법으로 영상을 얻으면 평균 전계전력패턴에서 예상한 영상보다 큰 영상을 얻게 된다. 또한 평균 전계전력패턴에 존재하던 간섭무늬가 영상재현되는 과정에서 제거되므로, 도체기둥에 의해 전계전력패턴에 발생하는 간섭무늬는 다중주파수를 사용하여 전계전력을 평균화하는 과정과 이 평균 전계전력패턴을 역투시하여 영상을 재현하는 두번의 과정에서 걸쳐 제거되는 것을 알 수 있다. 이들 현상은 평균 전계전력패턴이 역투시되는 과정에서 전계전력패턴들이 서로 다른 입사각으로 여러 번 중첩되므로 나타나게 된다(그림 5). #1 전계전력패턴이 역투시되어 있을 때 #2 전계전력패턴이 역투시되는 경우를 생각해 보 면, 입사파 전력보다 크기가 큰 #1 패턴의

Q' 값에 작은 #2 패턴의 Q 값이 더해져 평균 되므로 #1 패턴의 Q' 값이 감소하여 shadow 영역폭이 증가하게 되며, #1 패턴의 P 에 주기가 다른 #2 패턴의 P 가 중첩되므로 간섭무늬가 제거되는 것을 알 수 있다.

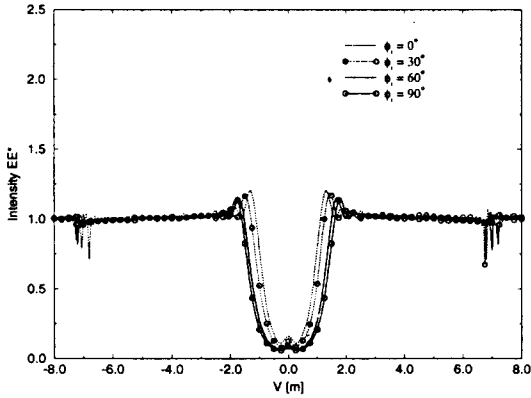


그림 6. 원형회전 측정구조에서 입사각(ϕ_i)이 0° , 30° , 60° , 90° 인 경우에 주파수 대역이 (1 MHz, 3201 MHz), 주파수 간격이 100 MHz, 비유전율이 2일 때 $u_o = 8$ m에서 측정된 장축이 1 m, 단축이 0.5 m인 도체 타원기둥의 평균 전계전력패턴

Fig. 6. Average intensity patterns scattered from the conducting elliptic cylinder with 1 meter major axis and 0.5 meter minor axis in a dielectric medium of $\epsilon_r = 2$ at $u_o = 8$ m for the frequency band of (1 MHz, 3201 MHz) by the interval of 100 MHz for $\phi_i = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$, and 90° in the circular rotational configuration.

소개된 영상재현법을 이용해 도체기둥의 단면모양을 재현할 수 있는지를 알기 위해, 원형회전 측정구조에서 비유전율이 2인 유전체 매질내에 있는 장축(x 축 방향)의 길이가 1 m이고 단축(y 축 방향)의 길이가 0.5 m인 도체 타원기둥에 평면파가 입사되었을 때 경계요소법(Boundary element method)^[10]을 이용해서 산란파를 계산해 산란체의 영상을 재현했다. 경계요소법을 이용해서 산란파를 계산하는 경우에 주파수가 증가하거나 측정거리가 감소하면 미지수의 개수가 증가하여 많은 계산시간과 기억용량이 필요하므로, 편의상 본 논문에서는 $u_o = 8$ m에서 주파수 대역이 (1 MHz, 3201 MHz)일 때 입사각(ϕ_i)을 10° 씩 증가시키

며 평균 전계전력을 계산했다(그림 6). 선택된 대역내에서는 주파수를 100 MHz씩 증가시키면서 전계를 계산했다. 입사각이 0° 에서 90° 로 증가하면, 입사파를 차단하는 도체기둥의 단면크기가 증가하므로 shadow 영역폭이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 입사각이 증가하면, 회절파가 도체 표면을 따라 돌아오는 길이가 증가하여 회절파 크기가 감소하므로 shadow 영역에서 전계전력 값이 감소하는 것을 볼 수 있다.

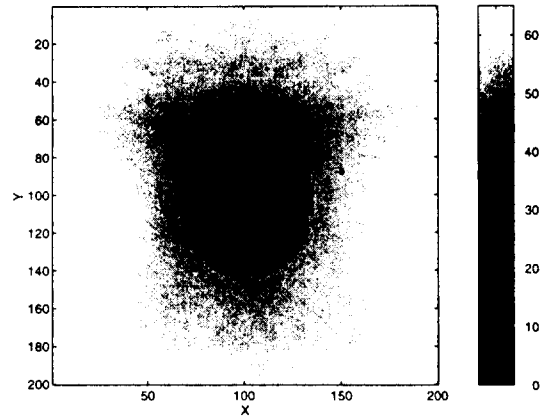


그림 7. 원형회전 측정구조에서 36개 입사각을 사용하는 경우에 주파수 대역이 (1 MHz, 3201 MHz), 주파수 간격이 100 MHz, 비유전율이 2일 때 $u_o = 8$ m에서 측정된 평균 전계전력패턴을 이용해 얻은 장축이 1m, 단축이 0.5m인 도체 타원기둥의 incoherent 영상

Fig. 7. Incoherent image of the conducting elliptic cylinder with 1 meter major axis and 0.5 meter minor axis in a dielectric medium of $\epsilon_r = 2$ obtained from the average intensity patterns measured at the distance of $u_o = 8$ m for the frequency band of (1 MHz, 3201 MHz) by the interval of 100 MHz in the circular rotational configuration with 36 incident plane waves.

$v = \pm 7$ m 부근에서 나타나는 임펄스 파형은 다른 주기를 가진 전계전력패턴이 중첩되는 과정에서 보강 간섭이 일어나 발생하는 것으로 주파수 간격을 작게 하여 평균 전계전력을 계산하면 제거할 수 있다. 얻은 평균 전계전력패턴들을 영상재현하려는 영역에 입사각을 10° 씩 증가시키며 역투시하여 도체 타원기둥의 영상을

재현했다(그림 7). 이를 도체 원기둥의 영상재현 결과들(그림 4(a)-(c))과 비교하면, 좌표계 원점에 중심이 있고 y 축방향에 비해 x 축방향 길이가 긴 타원영상이 재현되므로 산란체의 위치 및 모양을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전편 논문에서 설명된 다중 주파수를 사용하여 얻은 incoherent shadow 전계전력패턴을 원형 회전 측정구조에서 측정한 후, 이 전계전력패턴을 영상재현하려는 영역에 역투시하여 도체기둥의 incoherent 영상을 얻는 방법을 제시했다. 도체 원기둥 및 타원기둥의 영상재현을 통해 이 영상법의 타당성을 보였으며, 보다 넓은 주파수 대역폭을 사용하고 좀더 산란체에 접근해서 측정한 전계전력패턴을 사용하면 보다 산란체에 가까운 영상을 얻을 수 있음을 보였다. 이 영상재현법은 영상재현의 입력자료로 총전계전력을 사용하므로 산란파나 위상정보가 필요하지 않으며, 산란체의 사전정보를 사용하지 않고도 복잡한 신호처리 과정 없이 간단한 산술계산만으로 영상을 재현할 수 있다는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. Lewis, "Physical optics inverse diffraction," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-17, pp. 308-314, May, 1969.
- [2] N. N. Bojarski, "A Survey of the physical optics inverse scattering identity," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-30, pp. 980-989, Sept., 1982.
- [3] T. H. Chu and D. B. Lin, "On micro-wave imagery using Bojarski's identity," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-37, pp. 1141-1144, Jul., 1989.
- [4] A. Roger, "Newton-Kantorovitch algorithm applied to an electromagnetic inverse problem," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-29, pp. 232-238, Mar., 1981.
- [5] C. C. Chiu and Y. W. Kiang, "Electromagnetic imaging for an imperfectly conducting cylinder," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-39, pp. 1632-1639, Sept., 1991
- [6] 박선규, 박천석, 나정웅, "각 스펙트럼 영역에서 개선된 Newton 알고리즘을 이용한 완전도체의 역산란 방법," *전자공학회지*, 제31권, 제6호, pp. 34-44, 1994년 6월
- [7] 강진섭, 나정웅, "다중주파수 시간조화신호를 사용한 도체기둥의 초고주파 incoherent 영상 : Part I - 다중주파수 시간조화신호를 사용한 incoherent 전력패턴," *전자공학회지*, 제33권, 제2호, 1996년 2월
- [8] J. S. Kang and J. W. Ra, "Two-dimensional incoherent imaging by using a coherent multi-frequency source," *Digest of Intl. Conf. on Infrared and Millimeter Waves(94 IR and MM WAVES)*, Sendai, Japan, pp. 445-446, Oct., 1994.
- [9] D. S. Jones, *The Theory of Electromagnetism*, Pergamon, New York, 1964.
- [10] K. Yashiro and S. Ohkawa, "Boundary element method for electromagnetic scattering from cylinder," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. AP-33, pp. 383-389, Apr., 1985.

 저 자 소 개

康 辰 變(正會員)

1963년 12월 30일생. 1987년 2월 한양대학교 전자공학과 공학사. 1989년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사. 1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사. 1994년 3월 ~ 1995년 3월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 위촉연구원. 1995년 3월~현재 University of Illinois at Urbana-Champaign의 Dept. of Electrical and Computer Eng.에서 Postdoctoral Research Associate에 재직중임. 주관심분야는 전자파 산란 및 역산란 수치해석과 안테나해석 등임.

羅 正 雄(正會員) 第 28卷 A編 第 2號 參照.

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수.