

論文99-36D-4-3

코팅된 구의 고유함수 해를 이용한 완전도체구의 전파흡수체의 설계

(Design of Wave Absorber for a Perfectly Conducting Sphere Using the Eigenfunction Series Solution from a Coated Sphere)

沈載鎰*, 全中昌**, 金孝泰*

(Jaeruen Shim, Joong-Chang Chun, and Hyo-Tae Kim)

요 약

본 논문에서는 완전도체구의 전파흡수체를 설계하는 방법을 제시하였다. 코팅된 구의 역산란파는 반사파와 creeping wave의 합으로 표현된다. 현재는 곡률을 가진 산란체인 경우일지라도 단순히 반사파의 반사계수를 0이 되게 하는 전파흡수체를 설계하였다. 크기가 작은 완전도체구의 전파흡수체를 설계하기 위해서는 반사파 뿐만 아니라 회절파인 creeping wave에 의한 영향도 함께 고려해 주어야 한다. 이를 위해 코팅된 구의 고유함수해의 역산란파가 0이 되는 조건을 Newton-Raphson 수치 해석 방법을 이용하여 전파흡수체를 설계하였다. 본 연구에서 제안한 방법으로 전파흡수체를 설계하여 크기가 작은 완전도체구에 코팅하였을 경우 기존의 무한 평면으로 가정하여 구한 전파흡수체 보다 우수한 흡수 성능을 보였다.

Abstract

The design method of a wave absorber for a perfectly conducting sphere is presented. The backscattered field from a coated sphere can be represented as the sum of the reflected field and the creeping wave. The wave absorber for a curved surface has been designed from that the reflection coefficient of the reflected field is zero. For the design of wave absorber for a small sized conducting sphere, the creeping wave should be considered as well as the reflected field. The perfect absorbing conditions are numerically searched using the Newton-Raphson method from the backscattered field of the eigenfunction series solution from a coated sphere. The wave absorber designed by this method exhibits a superior performance of absorption to that designed from the plate type absorbing condition.

I. 서 론

비행기나 탱크와 같은 복잡한 표적물은 표준 구조물

* 正會員, 浦項工科大学校 電子電氣工學科

(Dept. of Electronics and Electrical Engineering, POSTECH)

** 正會員, 威德大學教 情報通信工學科

(Dept. of Communications Engineering, Uiduk University)

接受日字:1998年12月1日, 수정완료일:1999年3月24日

인 실린더나 구 혹은 wedge/edge 등의 기하학적인 조합으로 모델링하여 RCS(Radar Cross Section)를 예측할 수 있다. 이러한 표적물의 RCS를 줄이기 위해 표적물의 형상을 변경(shaping)하거나 부분적으로 전파흡수물질(RAM, Radar Absorbing Material)을 코팅한다^[1, 2]. GTD/UTD(Geometrical Theory of Diffraction/Uniform GTD) 관점에서 역산란파는 반사파와 회절파의 합으로 표현된다^[3].

구의 반지름이 큰 경우의 완전흡수조건(perfect absorbing condition)은 기존의 단층형 전파흡수체의

설계 방법을 응용하여 도체구의 표면을 무한 평면으로 가정하여 반사계수가 0이 되는 조건을 찾는 것이다^[4, 5]. 그러나, 구의 반지름이 작은 경우에는 구의 원주를 타고 흐르는 회절파인 creeping wave 성분으로 인하여 기존의 전파흡수체의 설계 방법으로는 만족스러운 전파흡수체를 설계하지 못한다. 이는 표준구조물의 하나인 완전도체구의 전파흡수체를 설계하기 위해서는 반사파뿐만 아니라 회절파에 의한 영향을 고려해 주어야 함을 뜻한다.

본 연구의 목적은 크기가 작은 완전도체구에 적합한 전파흡수체의 설계 방법을 제시하는 것이다. 실린더형의 표적물에 대한 전파흡수체의 설계는 Hashimoto와 Mizokami에 의해 연구되었다^[6].

II. 분석

1. 고유함수 해

반지름 a 인 완전도체구에 흡수물질 $\epsilon_1 (= \epsilon_0 \epsilon_r)$ 과 $\mu_1 (= \mu_0 \mu_r)$ 이 두께 $d (= b - a)$ 로 코팅되어 있고 입사파의 편향이 \hat{x} 이고 $+z$ 축으로 진행하는 경우를 그림 1에 나타내었다. 입사파는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 시간 조화 함수는 $e^{j\omega t}$ 로 하였고 모든 수식에서 생략하였다.

$$\vec{E}^i = \hat{x} E_0 e^{-jk_z z} \tag{1}$$

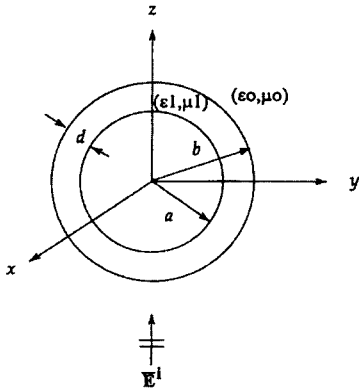


그림 1. 코팅된 구의 구조
Fig. 1. Geometry of a coated sphere.

그림 1의 구조에서 $\theta = \pi$ 에서의 원거리(far zone) 역산란파(backscattered field) \vec{E}^s 는 Mie series의 해로 다음과 같이 표현할 수 있다^[7, 8].

$$\vec{E}^s \approx \hat{\theta} (E_{\theta}^{TE} + E_{\theta}^{TM}) + \hat{\phi} (E_{\phi}^{TE} + E_{\phi}^{TM}) \tag{2}$$

여기서,

$$E_{\theta}^{TE} = jE_0 \cos \phi \frac{e^{-jk_r r}}{k_0 r} \sum_{n=1}^{\infty} j^{2n} \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\hat{f}'_n(k_0 b) - \hat{Y}_n \hat{f}_n(k_0 b)}{\hat{H}_n^{(2)'}(k_0 b) - \hat{Y}_n \hat{H}_n^{(2)}(k_0 b)} \tag{3}$$

$$E_{\theta}^{TM} = -jE_0 \cos \phi \frac{e^{-jk_r r}}{k_0 r} \sum_{n=1}^{\infty} j^{2n} \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\hat{f}'_n(k_0 b) - \hat{Z}_n \hat{f}_n(k_0 b)}{\hat{H}_n^{(2)'}(k_0 b) - \hat{Z}_n \hat{H}_n^{(2)}(k_0 b)} \tag{4}$$

$$E_{\phi}^{TE} = jE_0 \sin \phi \frac{e^{-jk_r r}}{k_0 r} \sum_{n=1}^{\infty} j^{2n} \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\hat{f}'_n(k_0 b) - \hat{Y}_n \hat{f}_n(k_0 b)}{\hat{H}_n^{(2)'}(k_0 b) - \hat{Y}_n \hat{H}_n^{(2)}(k_0 b)} \tag{5}$$

$$E_{\phi}^{TM} = -jE_0 \sin \phi \frac{e^{-jk_r r}}{k_0 r} \sum_{n=1}^{\infty} j^{2n} \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\hat{f}'_n(k_0 b) - \hat{Z}_n \hat{f}_n(k_0 b)}{\hat{H}_n^{(2)'}(k_0 b) - \hat{Z}_n \hat{H}_n^{(2)}(k_0 b)} \tag{6}$$

$$\hat{Y}_n = \frac{Z_0}{Z_1} \frac{\hat{N}'_n(k_1 a) \hat{f}'_n(k_1 b) - \hat{f}'_n(k_1 a) \hat{N}'_n(k_1 b)}{\hat{N}'_n(k_1 a) \hat{f}_n(k_1 b) - \hat{f}'_n(k_1 a) \hat{N}'_n(k_1 b)} \tag{7}$$

$$\hat{Z}_n = \frac{Z_1}{Z_0} \frac{\hat{N}'_n(k_1 a) \hat{f}'_n(k_1 b) - \hat{f}'_n(k_1 a) \hat{N}'_n(k_1 b)}{\hat{N}'_n(k_1 a) \hat{f}_n(k_1 b) - \hat{f}'_n(k_1 a) \hat{N}'_n(k_1 b)} \tag{8}$$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{\epsilon_1}} \tag{9}$$

$$k_1 = \sqrt{\epsilon_1 \mu_1} \tag{10}$$

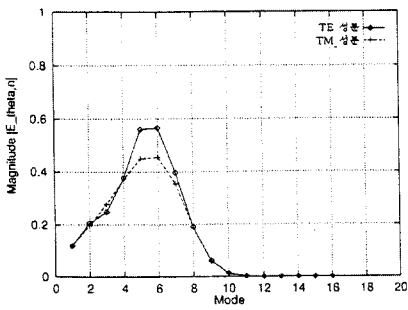
위의 식에서 Z_1 과 k_1 은 코팅물질(ϵ_1 과 μ_1)의 고유 임피던스(intrinsic impedance)와 파수(wave number)를 각각 나타낸다. $\hat{f}_n, \hat{N}_n, \hat{H}_n^{(2)}$ 은 alternative spherical Bessel 함수이고 $\hat{f}'_n, \hat{N}'_n, \hat{H}_n^{(2)'$ 은 그의 argument에 대한 미분을 뜻한다.^[10, 11]

코팅된 구의 고유함수 해를 사용하여 RCS를 계산하기 위해서는 무한급수 해의 수렴성에 대한 사전조사가 필요하다. 그림 2는 반지름 a 가 3 cm이고 코팅두께가 5.55 mm이고 흡수물질이 $\epsilon_r = (2., -j0.5)$, $\mu_r = (0.631, -j0.529)$ 인 조건에 대한 고유함수 해의 수렴성을 보여준다. 이는 주파수 10 GHz에서 도체구의 반지름이 $1 \lambda_0$ 이고 코팅두께가 $0.185 \lambda_0$ 로 본 연구의 주된 관심이 되는 크기가 작은 완전도체구에 해당하는 크기이다.

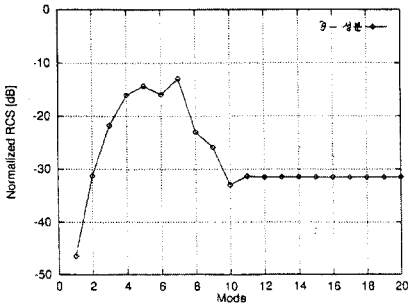
그림 2의 a)는 $\hat{\theta}$ 성분의 TE 성분과 TM 성분에

해당하는 식 (3)과 식 (4)의 각 모드(mode)에 따른 전계의 크기를 보여준다. 그림 2의 b)는 정규화된 RCS (normalized RCS)를 계산하기 위해 고려된 모드의 개수에 따른 수렴 정도를 보여준다. 정규화된 RCS는 표적물의 RCS (σ_{target})를 구한 후 완전도체구의 RCS (πa^2)로 나눈 값으로 다음 식으로 표현된다.

$$\text{정규화된 RCS} = 10 \log \frac{\sigma_{target}}{\pi a^2} \quad (11)$$



(a)



(b)

그림 2. 고유함수 해의 수렴성. a) θ 성분의 각 모드의 크기. b) 고려한 모드에 따른 정규화된 RCS의 수렴 정도

Fig. 2. Convergence of the eigenfunction series solution. a) Magnitude of each mode of θ -component. b) Normalized RCS according to the accumulated mode number.

그림 2에 관한 코팅조건에서는 12개 정도의 모드만으로도 정확한 해를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 유효한 모드의 범위는 완전도체구의 반지름이나 코팅 물질 및 코팅두께에 따라 정해지는 값으로, 무한급수 형태인 고유함수 해를 이용한 계산에서는 유효한 모드의 범위를 사전에 확인하여야 한다. 본 연구의 경우,

주된 관심인 크기가 작은 완전도체구의 전파흡수체를 설계하기 위해서는 20개 정도의 모드만으로 정확한 해를 얻을 수 있음을 사전에 확인하였다.

2. 기존의 단층형 전파흡수체의 설계

그림 3과 같이 무한 평면에서의 완전흡수조건은 흡수물질(ϵ_r, μ_r)이 코팅두께 d 와 다음의 관계를 만족하여야 한다^[4].

$$\Gamma = \frac{z_{in} - 1}{1 + z_{in}} = 0 \quad (12)$$

여기서,

$$z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh\left(j2\pi \frac{d}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right) \quad (13)$$

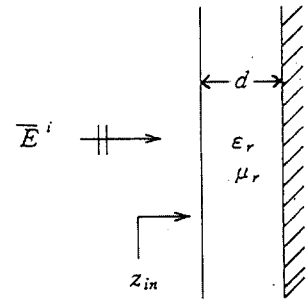


그림 3. 무한 평면에서의 완전흡수조건
Fig. 3. Perfect absorbing condition on an infinite plate.

위의 식에서 Γ 는 반사계수이고, z_{in} 은 도체 무한 평면 위에 코팅된 전파흡수체에서의 입력 임피던스이다.

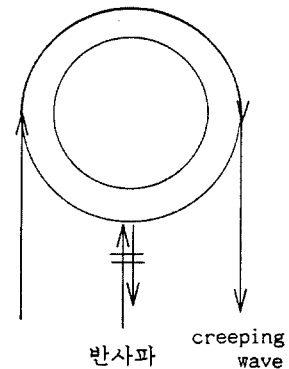


그림 4. 반사파와 회절파
Fig. 4. The Reflected Wave and the Creeping Wave

구의 반지름이 큰 경우에는 식 (12)와 식 (13)에 의한 완전흡수조건만으로도 만족스러운 전파흡수체를 설계할 수 있지만, 구의 반지름이 작은 경우에는 위의 조건으로는 불충분하다. 그림 4에서 보듯이, 이를 GTD/UTD 개념으로 설명하면 구의 반지름이 작은 경우에는 반사파 뿐만 아니라 회절파에 해당하는 creeping wave의 크기를 무시할 수 없기 때문이다^[3, 8]. 또한, 곡면에 의한 반사계수도 고려해 주어야 하기 때문이다^[9].

3. 제안하는 전파흡수체의 설계

표적물의 크기가 파장에 비해 큰 경우에는 GTD/UTD가 유용하게 쓰이지만 표적물의 크기가 파장에 비해 작은 경우에는 그 해의 정확성을 보장하지 못한다. 따라서, 본 연구에서는 코팅된 구의 고유흡수해를 직접 이용하여 역산란파가 0이 되는 조건을 Newton-Raphson 수치 해석 방법을 이용하여 찾았다.

식 (2)의 θ 성분에 대한 역산란파는 TE 성분과 TM 성분의 합으로 구성되어 있다. 이를 이용하여 식 (2)의 TE 성분과 TM 성분이 서로 상쇄되는 흡수 물질을 찾아주면 완전도체구의 전파흡수체를 설계하는 것이 된다.

$$E_{\theta}^{TE} = -E_{\theta}^{TM} \tag{14}$$

즉,

$$\sum_{n=1}^{\infty} j^{2n} (n + \frac{1}{2}) [A - B] = 0. \tag{15}$$

여기서,

$$A = \frac{\hat{f}_n'(k_0 b) - \hat{Y}_n \hat{f}_n(k_0 b)}{\hat{H}_n^{(2)'}(k_0 b) - \hat{Y}_n \hat{H}_n^{(2)}(k_0 b)},$$

$$B = \frac{\hat{f}_n'(k_0 b) - \hat{Z}_n \hat{f}_n(k_0 b)}{\hat{H}_n^{(2)'}(k_0 b) - \hat{Z}_n \hat{H}_n^{(2)}(k_0 b)}.$$

위의 식에서 “ ∞ ”는 전파흡수체를 설계하기 위해 고려해 주어야 할 모드의 개수로 본 연구에서는 20개의 모드를 사용하였다. 식 (14)와 (15)는 θ 성분에 대한 전파흡수체의 설계이고 ϕ 성분에 대한 전파흡수체는 θ 성분에 대한 과정과 같이 아래의 식 (16)으로 설계할 수 있다.

$$E_{\phi}^{TE} = -E_{\phi}^{TM} \tag{16}$$

코팅된 구의 완전흡수조건은 도체구의 반지름 a , 흡수물질 $\epsilon_r (= \epsilon_r' - j\epsilon_r'')$, $\mu_r (= \mu_r' - j\mu_r'')$ 과 코팅두께 d 등 여섯 개 변수 ($a, \epsilon_r', \epsilon_r'', \mu_r', \mu_r'', d$)의 함수이다. 그러므로 완전도체구의 전파흡수체를 설계하기 위하여 네 가지 ($a, \epsilon_r', \epsilon_r'', d$)의 조건을 사전에 가정한 후 나머지 두 가지 (μ_r', μ_r'')를 Newton-Raphson 수치 해석 방법을 이용하여 수치적으로 찾는다. 또는, 네 가지 (a, μ_r', μ_r'', d)의 조건을 가정한 후 나머지 두 가지 ($\epsilon_r', \epsilon_r''$)를 찾을 수도 있다^[12].

III. 수치 결과

그림 5는 완전도체구의 $\epsilon_r = (1., 0.)$ 일 때, 코팅두께 d 를 변화시켜 가면서 역산란파가 0이 되는 $\mu_r (= \mu_r' - j\mu_r'')$ 를 구한 결과로 가로축이 실수부 (μ_r')이고 세로축이 허수부 (μ_r'')이다. 코팅두께 d 는 $0.05\lambda_0$ 에서 $0.4\lambda_0$ 까지 $0.01\lambda_0$ 씩 증가시켰다. 그림 6은 완전도체구의 $\mu_r = (1., 0.)$ 로 주어졌을 때 코팅두께 d 를 변화시켜 가면서 $\epsilon_r (= \epsilon_r' - j\epsilon_r'')$ 를 구한 결과이다. 그림 5는 완전도체구의 반지름이 $a = 1\lambda_0$ 와 $a = 0.5\lambda_0$ 일 때의 결과이고, 그림 6은 $a = 1.5\lambda_0$ 와 $a = 0.75\lambda_0$ 일 때의 결과를 제시하였다.

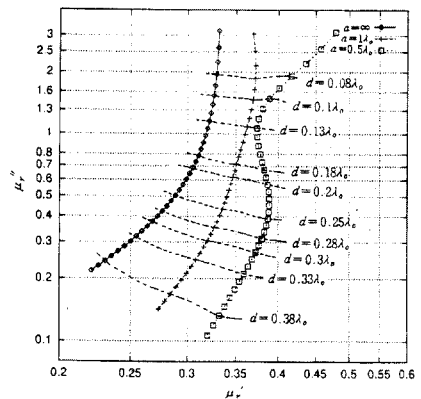


그림 5. ϵ_r 이 주어졌을 때의 비투자율 μ_r
Fig. 5. The relative permeability μ_r given ϵ_r .

그림 5와 6에서 보듯이 완전도체구를 무한 평면으로 가정하여 구한 결과와 완전도체구의 반지름을 고려한 결과와는 어느 정도 차이가 남을 알 수 있다. 이는 기존의 반사계수만을 0으로 하는 전파흡수체의 설계로

는 곡률을 가진 표적물의 전파흡수체를 완벽하게 설계하지 못함을 뜻한다. 따라서, 곡률을 가진 표적물에서는 반사계수에 곡률 정보를 포함하여야 하고, 회절파에 의한 영향도 함께 고려해 주어야 함을 의미한다.

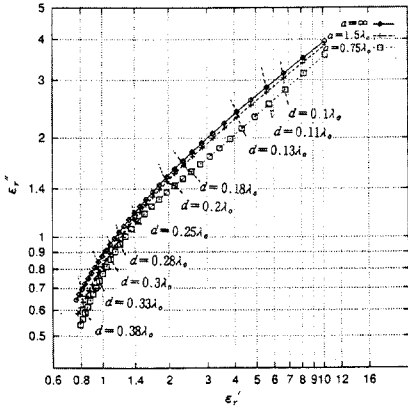


그림 6. μ_r 이 주어졌을 때의 비유전율 ϵ_r
 Fig. 6. The relative permittivity ϵ_r , given μ_r .

표 1에 그림 5의 $d=0.2\lambda_0$ 에서의 결과와 그림 6의 $d=0.11\lambda_0$ 에서의 결과를 정리하였다.

표 1. 그림 5와 6에서 구한 전파흡수체
 Table 1. Wave absorber from Fig. 5 and 6.

조건	Parameter 값		비고
1	$a = \infty,$	$\epsilon_r = (1, 0)$	그림 5의 결과
	$d = 0.2\lambda_0$	$\mu_r = (0.30518, -j0.68734)$	
2	$a = 1\lambda_0,$	$\epsilon_r = (1, 0)$	
	$d = 0.2\lambda_0$	$\mu_r = (0.34669, -j0.61910)$	
3	$a = \infty,$	$\epsilon_r = (5.56846, -j2.85329)$	그림 6의 결과
	$a = 0.11\lambda_0$	$\mu_r = (1, 0)$	
4	$a = 0.75\lambda_0,$	$\epsilon_r = (5.72942, -j2.53432)$	
	$a = 0.11\lambda_0$	$\mu_r = (1, 0)$	

그림 7과 8은 표 1에 정리된 4가지 조건의 전파흡수체로 코팅했을 때의 X-band (8 GHz ~ 12 GHz)의 RCS 계산 결과이다. 그림 7은 반지름이 3cm(주파수 10 GHz에서 $a=1\lambda_0$)이고, 코팅두께가 6mm(주파수 10 GHz에서 $d=0.2\lambda_0$)인 완전도체구의 정규화된

RCS 결과이다. 그림 8은 반지름이 2.25cm(주파수 10 GHz에서 $a=0.75\lambda_0$)이고, 코팅두께가 4.4mm(주파수 10 GHz에서 $d=0.11\lambda_0$)인 완전도체구의 정규화된 RCS 결과이다. 즉, 그림 7에서 완전흡수조건이 일어나는 것은 “조건 2”에 해당하는 코팅 조건이고, 그림 8에서 완전흡수조건이 일어나는 것은 “조건 4”에 해당한다. 그림 7과 8에서 보듯이 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 무한 평면으로 가정 한 전파흡수체 보다 X-band에서 보다 우수한 성능을 보인다.

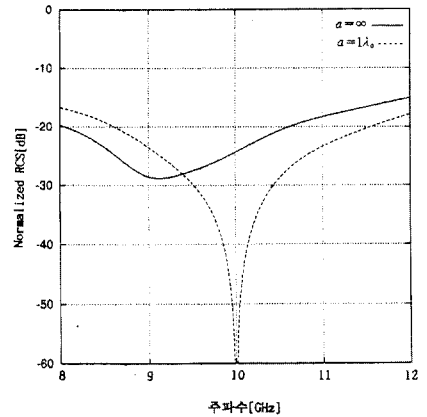


그림 7. 반지름 3cm인 도체구에 흡수물질이 코팅되었을 때의 정규화된 RCS 결과

Fig. 7. Normalized RCS from a coated sphere with radius $a=3cm$.

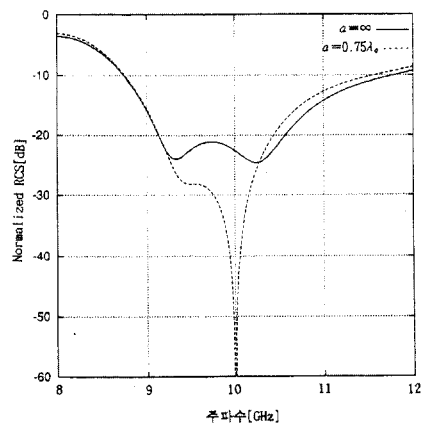


그림 8. 반지름 2.25cm인 도체구에 흡수물질이 코팅되었을 때의 정규화된 RCS 결과

Fig. 8. Normalized RCS from a coated sphere with radius $a=2.25cm$.

IV. 결 론

본 논문에서는 크기가 작은 완전도체구의 전파흡수체를 설계하는 방법을 제시하였다. 크기가 작은 완전도체구의 전파흡수체의 설계는 회절파의 영향 때문에 완전도체구를 무한 평면으로 가정하여 반사파만을 0으로 하는 기존의 설계 방법으로는 불완전하다. 본 연구에서는 반사파와 creeping wave가 모두 포함된 코팅된 구의 고유함수 해를 직접 이용하여 전파흡수체를 설계하였다. 코팅된 구의 완전흡수조건은 도체구의 반지름 a , 흡수물질 ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$, $\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$)과 코팅두께 d 등 여섯 개의 변수 ($a, \epsilon_r', \epsilon_r'', \mu_r', \mu_r'', d$)의 함수이다. Newton-Raphson 수치 해석 방법을 이용하여 네개의 조건을 가정한 후 나머지 두 개의 값 ($\epsilon_r' - j\epsilon_r''$ 또는 $\mu_r' - j\mu_r''$)을 수치적으로 찾았다.

본 연구에서 제안한 설계 방법을 반지름이 큰 완전도체구에도 쉽게 적용할 수 있지만 구의 반지름이 커지면 고려해 주어야 할 모드(mode)의 수가 늘어나서 고유함수 해의 수렴속도가 느려진다. 그러나, 반지름이 큰 완전도체구에서는 회절파인 creeping wave의 영향이 무시될 수 있을 정도로 작아져서 반지름이 큰 구인 경우에는 완전도체구를 무한 평면으로 가정하여 구한 전파흡수체의 설계 결과와 크게 다를 게 없다.

본 연구에서 제안한 방법을 크기가 작은 완전도체구에 코팅하여 전파흡수체를 설계하였을 경우, 기존의 무한 평면으로 가정하여 구한 전파흡수체 보다 우수한 흡수 성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] A. K. Bhattacharyya and D. L. Sengupta, *Radar Cross Section Analysis and Control*, Artech House, 1991.
- [2] E. F. Knott, J. F. Shaeffer and M. T. Tuley, *Radar Cross Section*, Artech House, 1993.
- [3] D. A. McNamara, C. W. Pistorius and J. A. G. Malherbe, *Introduction of the Uniform Geometrical Theory of Diffraction*, Artech House, 1990.
- [4] H. M. Musal and H. T. Hahn, "Thin-Layer Electromagnetic Absorber Design," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol.-25, no. 5, pp.3851-3853, Sep. 1989.
- [5] J. J. Pesque, D. P. Bouche and R. Mittra, "Optimization of Multilayer Antireflection Coatings Using an Optimal Control Method," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-40, no. 9, pp.1789-1796, Sep. 1992.
- [6] O. Hashimoto and O. Mizokami, "A Method for Designing Wave Absorber for Cylindrical Objects," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. AP-39, no. 6, pp.854-857, June 1991.
- [7] J. H. Richmond, "Scattering by a Ferrite-Coated Conducting Sphere," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. AP-35, no. 1, pp.73-79, Jan. 1987.
- [8] H. T. Kim, "High-Frequency Analysis of EM Scattering from a Conducting Sphere Coated with a Composite Material," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. AP-41, no. 12, pp.1665-1674, Nov. 1993.
- [9] J. J. Bowman and V. H. Weston, "The Effect of Curvature on the Reflection Coefficient of Layered Absorbers," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. AP-14, no. 6, pp.760-767, 1966.
- [10] R. F. Harrington, *Time Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill, 1961.
- [11] M. Abramowitz and I. Stugun, eds., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover, 1965.
- [12] R. L. Burden and J. D. Faires, *Numerical Analysis*, PWS-KENT Publishing Company, 1989.

저 자 소 개

沈 載 鎔(正會員) 第 35卷 D編 第 5號 參照

金 孝 泰(正會員) 第 35卷 D編 第 5號 參照



全 中 昌(正會員)

1984년 2월 경북대학교 전자공학과
(공학사). 1991년 2월 포항공과대학
교 전자전기공학과(공학석사). 1995
년 2월 포항공과대학교 전자전기공
학과(공학박사). 1995년 ~ 1997년
한국통신 연구개발본부 선임연구원.

1997년 3월 ~ 현재 위덕대학교 정보통신공학과 전임강
사. 주관심분야는 안테나 공학, 마이크로파소자 수치해
석, 마이크로파 계측 시스템, 무선이동통신임