

다층매질 중 안테나의 방사패턴 해석

황재호*

*경주대학교

Analysis of Radiation Pattern of Antenna in Multi-Layered Media

Jae-Ho Hwang*

*Gyeongju University

E-mail : jhhwang@gnu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 다층매질 안에 위치한 안테나의 방사특성을 해석하고 있다. 접지면이 없는 유전체 기판에 인쇄된 안테나의 경우, 매질의 구성은 공기층을 포함하여 3층매질이 되며 이러한 3층매질의 Green 함수는 Sommerfeld 적분식으로 표현되기 때문에 해석이 매우 복잡해진다. 그러나 안테나위 방사특성을 해석하는데 있어서는 적분식의 조건이 잘 일치한다면 Saddle-point법을 이용하여 근사할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 근사법을 적용하여 접지면이 없는 유전체 기판에 놓인 각종 안테나의 방사패턴 특성을 해석한다. 또한 기판으로 사용하는 유전체의 파라미터를 달리하여 방사특성을 검토한다.

ABSTRACT

The paper deals with the analysis of radiation characteristics of antenna in the multi-layered media structures. The dyadic Green's function for three layer medium is complex because the Green's functions belonging to the kernel of the integral equation are expressed as Sommerfeld integrals, in which surface wave effects are automatically included. When certain condition are met, the integral can be evaluated approximated by the method of Saddle-point integration. In this study, we propose a method to calculate a radiation pattern for several antennas by using the method of Saddle-point integration. Numerical results show how the radiation characteristics are affected by parameter of dielectric media.

키워드

방사특성, Green함수, Saddle-point법, Sommerfeld적분

I. 서 론

최근 다양한 무선 서비스에 대한 관심이 커지면서 다양한 형태의 단말기가 출현하고 있으며, 대다수의 단말기는 소형화되어 가는 추세이다. 단말기의 소형화에 사용되는 안테나의 소형 박형화에 대해서는 많은 연구개발이 진행되고 있으나, 가장 대표적인 방법으로는 안테나의 기판으로 사용되는 매질의 유전율을 높이는 방법이 사용되고 있다.[1][2] 유전체 기판 상에 인쇄된 안테나의 경

우 자유공간 중에 위치한 안테나의 해석과는 달리 유전체 매질의 Green함수를 도출해서 적분방정식의 해를 구하는 방법으로 엄밀한 해석을 하고 있다.[3]

안테나의 특성 해석에 있어 가장 중요한 것은 안테나에 분포하는 전류를 정확히 계산하는 것이라 할 수 있다. 모멘트법(Method of Moment)은 전자계를 해석하는 가장 엄밀한 방법으로 적분방정식을 수치해법을 이용하여 해를 도출하는 해석 방법으로 안테나와 같은 방사계에 주로 적용되고 있다. 이러한 수치해법은 적분방정식을 연립방정

식으로 변형한 후 기저함수(Basis function)와 시행함수(Weighting function)를 적절히 선택하여 도체면 또는 도체선의 분할 수에 따른 행렬식으로부터 안테나 표면상의 전류분포를 정확히 계산할 수 있다.

다층매질의 경우 모멘트법에 의해 구한 전류분포로부터 안테나의 방사특성을 해석한다. 다층매질 중에 위치한 파원으로부터의 원방전계는 Saddle point method로 근사할 수 있으며, 마이크로스트립 안테나의 경우 방사특성에 관한 연구 결과가 많이 나와 있다.[4][5] 그런데, 마이크로스트립 안테나와 같이 접지면이 있는 경우, 방사특성은 상부 반구면만 생각하면 되지만 접지면이 없는 유전체기판 상에 위치한 안테나의 경우, 상, 하 전면을 고려해야한다.

본 논문은 접지면이 없는 유전체기판 상에 위치한 안테나를 해석함에 필요한 각 매질의 Green 함수를 Saddle point method를 이용하여 근사하여 방사특성을 해석하고, 계산시간을 단축한다. 또한 기판상의 다양한 안테나에 대한 방사특성을 비교 검토한다.

II. Saddle-Point Method에 의한 원방 전계

그림1은 접지면이 없는 3층매질의 구조와 좌표계를 나타내고 있다. $z \geq 0$ 인 공간은 공기층이고 $-d < z < 0$ 인 공간은 비유전율이 ϵ_r 인 유전체 매질이 xy 면에 무한히 펼쳐져 있으며, $z \leq 0$ 인 공간은 공기층으로 되어있는 무한한 평면 기판이 공기층 가운데 놓여 있는 구조이다.

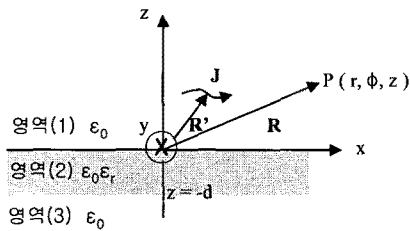


그림 1. 3층매질 구조와 좌표계

여기서 J와 P는 각각 파원과 관측점을 나타내고 있으며 이와 같은 경우의 관측점 P에서의 전계는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$E_1 = -j\omega\mu_0 \iiint \bar{G}_1(R, R') \cdot J(R') dV \quad (1)$$

여기서 \bar{G}_1 과 J는 각각 영역(1)에 대한 dyadic Green 함수와 전류원이며, 해당 매질의 dyadic

Green 함수를 도출 해야만 한다. 그러나 이와 같은 매질의 Green 함수는 식(1)과 같은 Sommerfeld 적분 형태로 수렴성이 좋지 않다.

$$\bar{G}(R, R') = \int_0^\infty \bar{f}_n(\lambda) J_n(\lambda r) e^{-jh(z-z')} d\lambda \quad (1)$$

그런데 원방계를 해석함에 있어서는 적분형태의 조건만 갖춰지면 Saddle point method를 이용한 점근근사가 가능해진다. 다음은 이러한 근사방법을 기술한다. 우선 식(1)의 Bessel 함수를 Hankel 함수로 대체하면 다음의 같이 된다.

$$\bar{G}(R, R') = \frac{1}{2} \int_0^\infty \bar{f}_n(\lambda) [H_n^{(1)}(\lambda r) + H_n^{(2)}(\lambda r)] e^{-jh(z-z')} d\lambda \quad (2)$$

여기서

$$\bar{f}_n(\lambda) = -e^{-jn\pi} \bar{f}_n(-\lambda) \quad (3)$$

을 만족하면 식(2)는

$$\bar{G}(R, R') = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty \bar{f}_n(\lambda) H_n^{(2)}(\lambda r) e^{-jh(z-z')} d\lambda \quad (4)$$

로 되고 여기서 $H_n^{(2)}$ 은 Debye의 점근근사로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_n^{(2)}(\lambda r) \approx \left(\frac{2}{\pi \lambda r}\right)^{1/2} j^{(2n+1)\pi/4} e^{-j\lambda r} \quad (5)$$

식(5)를 식(4)에 대입하면

$$\bar{G}(R, R') = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty \bar{f}_n(\lambda) \left(\frac{2}{\pi \lambda r}\right)^{1/2} j^{(2n+1)\pi/4} e^{-j\lambda R g(\lambda)} d\lambda, \quad z' = 0 \quad (6)$$

가 된다. 여기서,

$$r = R \sin \theta, \quad g(\lambda) = \lambda \sin \theta - h \cos \theta \quad (7)$$

이다. 식(6)에 있어 $|R|$ 이 매우 클 경우 $g(\lambda)$ 가 stationary로 되는 점 즉, 식(8)의 조건을 만족하는 Saddle point λ_s 에서 점근전계를 할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} g(\lambda_s) = 0 \quad (8)$$

식(9)와 식(10)은 이와 같은 근사법을 적용한 영역(1)과 영역(3)의 원방전계를 나타내고 있다.

$$E^{(1)}(R, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkR}}{2\pi k_0 R \sin \theta} [\sin \phi \{M'(-k_0 \cos \theta) + a_1(\theta)M'(k_0 \cos \theta)\} \hat{\phi} + j \cos \phi \{N'(-k_0 \cos \theta) + b_1(\theta)N'(k_0 \cos \theta)\} \hat{\theta}] I_x \quad (9)$$

$$E^{(3)}(R, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkR}}{2\pi k_0 R \sin \theta} [\sin \phi \{a_3(\theta)M'(k_0 \cos \theta)\} \hat{\phi} + j \cos \phi \{b_3(\theta)N'(k_0 \cos \theta)\} \hat{\theta}] I_x \quad (10)$$

여기서 M' 과 N' 은 벡터파동함수이고, 계수 a , b 는 각 매질의 경계조건으로 구할 수 있다. 또한 전류분포 I 는 다음과 같다.

$$I_x = \int I(x') e^{-jkx' \sin \theta \cos \phi} dx' \quad (11)$$

$$I(x') = \begin{cases} \frac{I_0 \sin k_0(l+x')}{\sin k_0 l}, & -l \leq x' \leq 0 \\ \frac{I_0 \sin k_0(l-x')}{\sin k_0 l}, & 0 \leq x' \leq l \end{cases} \quad (12)$$

III. 각종 안테나의 방사 패턴

그림2는 접지면이 없는 유전체 기판에 놓인 다이폴 안테나의 구조와 좌표계를 나타내고 있다.

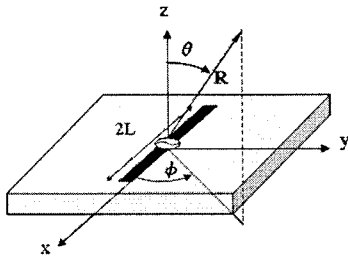


그림 2. 유전체기판상의 다이폴안테나

기판의 비유전율(ϵ_r)과 두께(d)가 각각 10.2, 2.4 mm이고 안테나의 전장($2L$)과 폭(w)이 각각 100 mm, 3 mm 이다. 안테나의 중앙부 급전점에 delta gap 급전을 취할 때 안테나 상의 전류분포는 그림3과 같다. 이때 안테나를 분할하는 segment 수는 11 개로 한다.

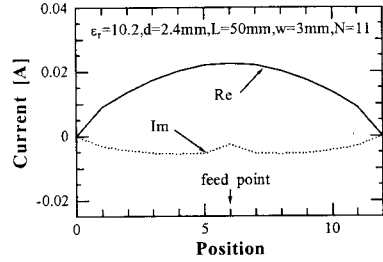


그림 3. 반파장 다이폴안테나의 전류분포

위와 같은 반파장 안테나의 경우 유전체의 영향으로 실제 물리장보다 짧아지는 단축효과가 있으며 이때 공진주파수는 0.9 GHz가 된다. 그림4는 기판의 비유전율을 달리 했을 때의 방사패턴을 나타내고 있다.

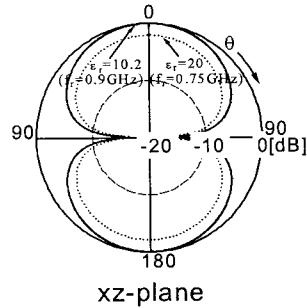


그림 4. 기판의 두께에 따른 방사패턴

기판의 비유전율에 따른 방사패턴을 비교해보면 비유전율이 커질수록 전계의 크기가 줄어들음을 알 수 있다.

그림5는 접지면이 없는 유전체 기판에 놓인 정방형 루프안테나의 구조를 나타내고 있다.

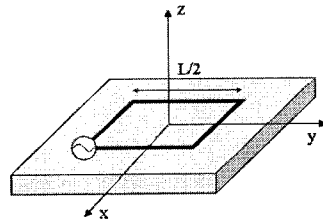


그림 5. 유전체기판상의 정방형 루프안테나

기판의 비유전율(ϵ_r)과 두께(d)가 각각 10.2, 2.4 mm이고 안테나의 전장($2L$)과 폭(w)이 각각 200 mm, 3 mm 이며 일 때, 안

테나의 공진 주파수는 1.08 GHz가 되며 이 때의 방사패턴은 다음과 같다.

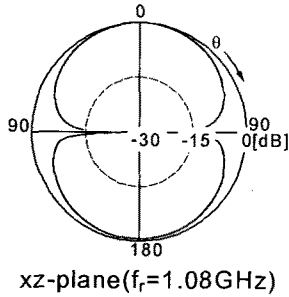


그림 6. 정방형 루프안테나의 방사패턴

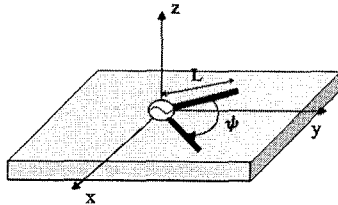


그림 7. V형 안테나의 방사패턴

그림7는 접지면이 없는 유전체 기판에 임의의 내각을 갖는 V형 안테나의 구조를 나타내고 있다. 기판의 비유전율(ϵ_r)과 두께(d)가 각각 10.2, 2.4 mm이고 안테나의 전장($2L$)과 폭(w)이 각각 100 mm, 3 mm 이며, ψ 는 안테나의 내각을 나타내고 있다.

그림8은 안테나의 내각 ψ 를 $\pi/4$, $\pi/2$, $3\pi/4$ 로 하였을 때의 방사 패턴이다. 내각이 커질수록 공진주파수가 커지고, $\pi/4$ 보다 $3\pi/4$ 의 경우 전계의 최대값이 약 3 dB정도 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 내각이 커질수록 다이폴안테나의 특성에 가까워지기 때문이라 생각할 수 있다.

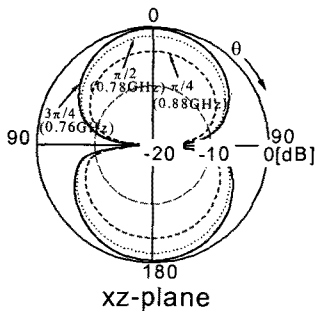


그림 8. V형 안테나의 방사패턴

IV. 결 론

본 논문은 접지면이 없는 유전체기판 상에 위치한 안테나를 해석함에 필요한 각 매질의 Green 함수를 Saddle point method를 이용, 근사식을 유도하여 방사특성을 해석하였다. 또한 이와 같은 근사법을 여러 가지 유형에 적용해 보기위해 유전체기판상에 다이폴안테나, 정방형 루프안테나, 임의의 내각을 갖는 V형 안테나를 모델로 하여 방사패턴을 수치계산 하였다. 다이폴안테나의 경우, 기판의 비유전율에 따른 방사패턴을 비교해 본 결과 비유전율이 커질수록 전계의 크기가 줄어들음을 알 수 있었다. V형 안테나의 경우에는 내각이 커질수록 공진주파수가 커지고, $\pi/4$ 보다 $3\pi/4$ 의 경우 전계의 최대값이 약 3 dB정도 크게 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, IEE Electromagnetic Wave Series, Vol.28, 1989
- [2] D. M. Pozar, S. M. Voda, "A Rigorous Analysis of a Microstripline Fed Patch Antenna", *IEEE Trans. AP.*, Vol.35, No.12, pp. 1343-1349, Dec. 1987.
- [3] 황재호, "3층매질 Green함수의 수렴성 개선", *해양정보통신학회 추계학술대회*, pp.219-222, Oct. 2007.
- [4] K. Naishadham, J.B. Berry and A.N. Hassan, "Full-Wave Analysis of Radiated Emission from Arbitrarily Printed Circuit Traces", *IEEE Trans. EMC.*, Vol.35, No.3, pp. 366-377, Aug. 1993.
- [5] Z. Cai and J. Bornemann, "Rigorous Analysis of Radiation Properties of Lossy Patch Resonators on Complex Anisotropic Media and Lossy Ground Metalization ", *IEEE Trans. AP.*, Vol.42, No.10, pp. 1443-1446, Oct. 1994.