

접지면과 높이가 같은 원형 패치 안테나의 복사 특성 해석

송재영, 방효제, 이행선*
서강대학교 전자공학과
email : leehs95@sogang.ac.kr

Radiation properties of Flush mounted Circular Patch Antenna

Song Jae-young, Bang Hyo-je and Lee Haeng-seon
Dept. of Electronic eng., Sogang University

Abstract

Radiation properties of flush mounted circular patch antenna are investigated. The patch is fed axis-symmetrically by a coaxial cable. Rigorous analysis is given using integral transform and mode matching techniques. The presented method accommodates radiating patch, and integrated matching sections and band pass filter.

Key words : circular patch, flush mount antenna

I. 서론

디스크 타입의 모노폴 안테나는 오래 전부터 사용되어 왔다. 디스크 모노폴 안테나는 단순한 모노폴 안테나를 작은 크기로 만드는 경우 전기 용량이 과도하게 커져서 전파의 복사가 제대로 일어나지 않는다는 단점이 있으므로 이를 해결하기 위해 모노폴 안테나의 끝에 디스크를 붙여서 인덕턴스 성분을 인위적으로 크게 하여 강제 공진을 시키는 구조의 안테나로서 파장에 비해 크기가 훨씬 작은 안테나로서 동작 가능한 장점이 있다[1]. 본 연구에서는 디스크 타입의 모노폴 안테나의 돌출부를 없애고 평면형으로 만들었을 때의 안테나의 특성을 해석적인 방법으로 구하고 실험 값과 비교하였다. 돌출부를 없앴기 때문에, 원형 패치 안테나처럼 보이는 특징이 있다. 그러나 급전하는 동축 케이블이 패치의 중심부에 연결이 되어 broad side 방향으로의 복사는 없지만 전 방향으로 복사가 필요한 경우에는 적합한 안테나이다.

기존의 수치 해석적인 방법[2] — 모멘트를 이용한 방법 및 유한 요소법, FDTD 등 — 과 달리 본 연구에서는 디스크 타입의 모노폴 안테나 해석을 위하

여 모노폴 안테나를 반지름이 다른 동축 케이블이 축상으로 연결된 구조로 분해하여 영역을 나누고, 각각의 영역에서 전기장과 자기장이 고유모드의 합으로 표시하는 방식을 이용했다.

본 논문에서는 간단한 모노폴 안테나뿐만 아니라 급전 구조까지 포함한 안테나의 특성을 효율적으로 예측할 수 있도록, 모드 매칭과 적분 변환을 이용하는 방법과 산란 행렬을 이용하는 방법을 조합해서 analytic solution 을 얻는 방법을 제시한다. 이 방법에서 급전 구조 부분은 일반화된 산란행렬을 이용해서 전자파를 표시하고, 복사 패치 부분은 적분 변환과 모드 매칭을 이용하여 전파를 표시하는 방법을 써서 계산한다.

본 논문에서 얻은 analytic solution 은 무한 공간으로 복사되는 전자파를 표현할 때, 개구면의 경계조건을 만족하는 고유 모드들을 이용하므로, 다른 근사적인 방법에 의한 방법에 비해 수렴 속도가 매우 빠른 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서 제시한 방법을 이용하면, 개구면 안테나에 급전 도파관과 모드 변환기 또는 매칭 구조, 필터 등이 모두 연결된 구조를 해석할 수 있다는 장점이 있다.

II. 이론

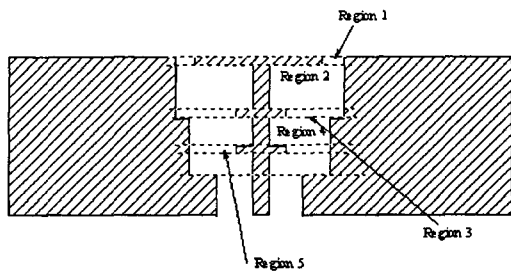


Fig. 1. : 급전 도파관에 전이 구조가 붙은 원형 패치 안테나(설명의 편의를 위해 수직방향의 길이가 실제보다 늘어나 있음).

그림 1 에 보이는 것과 같이, 안테나의 구조는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 즉, 급전 동축 케이블, 서로 다른 반지름과 길이를 갖는 동축선들의 연결로 이루어진 전이 부분, 패치 안테나 면과 접지면으로 이루어진 개구면으로 나눌 수 있다. 전이 부분을 포함한 안테나 문제를 해결하기 위해 전이 부분의 전자파를 표현하기 위해서는 일반화된 산란 행렬을 이용하였다.

2-1. 각 영역에서 전자파 표현

급전 도파관 (영역 I) 안에 존재하는 전기장과 자기장의 횡 성분(도파관 단면 성분)은 도파관 벽에 의한 경계조건을 만족하는 고유 모드들의 합으로 표현 가능하다. 도파관의 단면이 원형이므로 고유 모드들은 1종 베셀 함수들로 표시 가능하다. 표현식들은 아래와 같다.

$$\mathbf{E}_I = \sum_{n=1}^{N1} [A_I(n)e^{i\beta_n z} + B_I(n)e^{-i\beta_n z}] \mathbf{e}_I(n) \quad (1)$$

$$\mathbf{H}_I = \sum_{n=1}^{N1} [A_I(n)e^{i\beta_n z} - B_I(n)e^{-i\beta_n z}] \mathbf{h}_I(n) \quad (2)$$

여기에서 $\mathbf{e}_I(n)$ 과 $\mathbf{h}_I(n)$ 는 영역 I 에 존재하는 전기장과 자기장의 고유 모드를 표시하는 벡터 함수들이다. $A_I(n)$ 들과 $B_I(n)$ 들은 영역 I 에 존재하는 전기장과 자기장의 진행방향 성분과 반사파들의 방향에 해당하는 성분의 크기에 비례하는 계수들이다. N1 은 영역 I 에 존재하는 고유 모드들의 개수를 나타내는 숫자로서 이론상으로는 무한대이어야 하나, 실제로는 감쇄되지 않고 진행하는 모드의 개수와 감쇄하는 모드 몇 개의 합에 해당하는 수로 해도 충분한 정확도를 갖는 결과를 얻을 수 있다. 영역 I 에 존재 가능한 고유 모드 $\mathbf{e}_I(n)$ 들은 아래의 식으로 얻을 수 있다.

$$\mathbf{e}_I(n) = i\beta_n \nabla \Pi_n^I \quad (3)$$

여기에서 이고, Π 는 헤르쯔 포텐셜이다. 급전 형태가 축 대칭이므로 여기되는 고차모드들은 TM 모드들 뿐이다. β_n 은 n 번째 모드가 갖는 전파 상수의 값이다. 본 논문에서 전파는 z 축 방향으로 진행한다고 가정한다. 경계 조건을 만족하는 헤르쯔 포텐셜은 아래와 같다.

$$\Pi_n^I(n) = \cos \phi R_n(\chi_n r/b) e^{i\kappa_n z} \quad (4)$$

$$R_n(\chi_n r/b) = J_0(\chi_n r/b) - \frac{J_0(\chi_n a/b)}{N_0(\chi_n a/b)} N_0(\chi_n r/b) \quad (5)$$

여기에서 χ_n 은 $R_1(ax/b)=0$ 의 n 번째 근에 해당하고, $\kappa_n = [(\omega n_1)^2 - (\chi_n/b)^2]^{1/2}$ 이다. 여기에서 a 는 동축 케이블의 내부 도체 반지름이고 b 는 외부 도체의 안쪽 반지름이다. β_n 은 κ_n 과 같다.

다른 영역에서 전기장과 자기장의 단면 방향의 성분도 마찬가지로 표시할 수 있다.

인접 영역들의 전기장과 자기장들은 산란 행렬 S를 통해 연관되고, 아래식으로 표현된다.

$$\mathbf{B}_n = \mathbf{S}_{n,n} \mathbf{A}_n + \mathbf{S}_{n,n+1} \mathbf{A}_{n+1} \quad (9)$$

$$\mathbf{B}_{n+1} = \mathbf{S}_{n+1,n} \mathbf{A}_n + \mathbf{S}_{n+1,n+1} \mathbf{A}_{n+1} \quad (10)$$

위 식에서 \mathbf{B}_n 과 \mathbf{B}_{n+1} 는 전이 영역으로부터 멀어지는 방향으로 진행하는 고유 모드들의 성분을 나타내는 계수들로 만든 행 벡터이고, \mathbf{A}_n 과 \mathbf{A}_{n+1} 는 전이 영역으로 진행하는 고유 모드들의 계수로 만든 행 벡터이다. 전이 영역이 반지름과 길이가 다른 원형 도파관의 직렬 연결로 모델링이 가능하므로, 산란 행렬 S는 closed form 형태의 함수들로 표현 가능하다 [1].

전파가 복사되는 위쪽의 반 무한 공간에서는 고유 모드들이 연속적인 고유 값들을 갖게 되어 전기장과 자기장의 횡 성분은 아래의 적분식으로 표현 가능하다.

$$\mathbf{E} = \int \mathbf{B}(\zeta) \mathbf{e}(\zeta) d\zeta \quad (11)$$

$$\mathbf{H} = \int \mathbf{B}(\zeta) \mathbf{h}(\zeta) d\zeta \quad (12)$$

여기에서 \mathbf{e} 와 \mathbf{h} 는 반 무한 공간으로 전파하는 고유 모드들이다.

2-2. 경계 조건

앞에서 도입된 여러 계수들은 여전히 미지수이지만, 경계 조건을 이용하여 얻을 수 있다. 전기장과

자기장의 접선 성분이 연속이라는 조건을 이용하여 영역 1 과 영역 n 사이의 관계식을 얻을 수 있다.

$$B_1 = S_{1,1}A_1 + S_{1,n}A_n \quad (15)$$

$$B_n = S_{n,1}A_1 + S_{n,n}A_n \quad (16)$$

위 두 식과 (11), (12) 식을 연립하여 풀면

$$B(\zeta) = Q^{-1}P[S_{n,1}A_1 + (I + S_{n,n})A_n] \quad (17)$$

위 식에서 P^t 는 P 행렬의 adjoint 이고 Q 와 R 은 아래 식에 해당된다.

$$P_{\zeta,m} = \langle e_n(m) | h(\zeta) \rangle \quad (18)$$

$$Q_{\zeta,\zeta'} = \langle e(\zeta) | h(\zeta') \rangle \quad (19)$$

$$R_{n,m} = \langle h_n(m) | e_n(n) \rangle \quad (20)$$

위 식에서 $\langle u | v \rangle$ 는 아래 식으로 정의된다.

$$\langle u | v \rangle = \int (u \times v') \cdot da \quad (21)$$

적분 기호에서 S 는 동축 케이블의 도체를 제외한 면을 나타낸다. 위 적분은 고유 모드들의 Poynting 벡터의 적분들이 서로 적교하는 성질을 이용하여 closed form 으로 계산 결과를 얻을 수 있다.

III. 계산 결과

이 절에서는 앞에서 유도한 식을 이용하여 안테나의 입력 임피던스와 복사 패턴등을 계산한 예를 보였다.

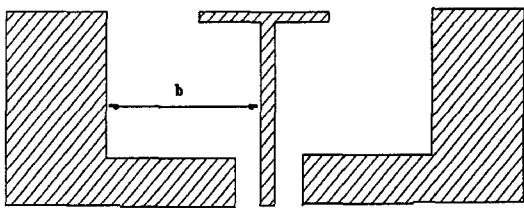


그림 2. b 가 아주 큰 경우 디스크 타입 모노폴 안테나가 됨

그림 2 에서 b 를 아주 크게 하면 원형 패치 안테나가 디스크 타입 모노폴 안테나가 되므로 본 논문에서 유도한 해석 방법이 타당한지 확인 가능하다. 그림 3 은 측정값과 비교해 본 결과로 본 논문에서 유도한 방법이 타당함을 알 수 있다.

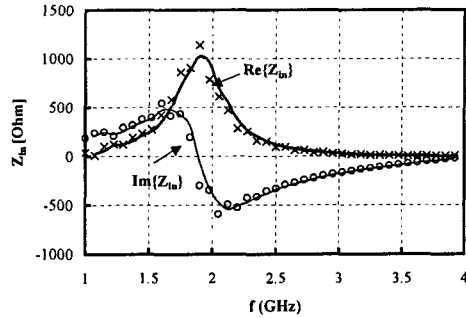


그림 3. 계산된 안테나의 입력 임피던스. (O,X 로 표시한 부분은 측정 값 [3])

아래 그림 4 는 flush-mount 된 원형 패치 안테나이다. 차량이나, 선박 등의 표면에 돌출 없이 부착할 수 있도록 접지면과 패치의 높이가 같게 만들어졌다. 접지면이 패치와 가까워짐으로써, 전기 용량이 커지는 문제가 있는데 접지면의 형태를 계단형태로 하여 임피던스 매칭을 했다.

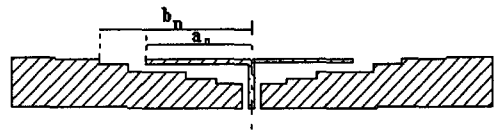


그림 4. Flush-mount circular patch antenna

N	a _n	b _n	d _n
1	1	1.5	1
2	1	10	2
3	1	20	2
4	1	45	2
5	40	55	1

표 1. (그림 4)의 안테나 크기(단위 mm)

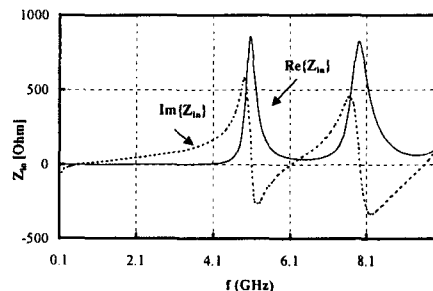


그림 5. (그림 4) 안테나의 입력 임피던스.

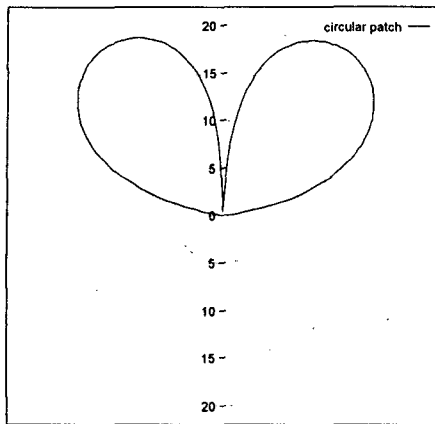


그림 6. (그림 4) 안테나의 복사 패턴 ($f=3\text{GHz}$)

IV. 결론

접지면과 원형 패치의 높이가 같은 안테나의 복사 특성을 계산하기 위한 해석 방법이 제시되었다. 산란 행렬과, 적분 변환을 이용하여 간단하면서도 정확한 해를 얻을 수 있었다. 유도된 방법을 이용하여, 디스크 타입 모노폴 안테나의 입력 임피던스를 계산하여 실험치와 비교해 일치하는 결과를 얻었다. 본 논문에서 유도한 결과를 이용하여 flush mount patch antenna 설계가 가능함을 보였다. 본 논문의 결과를 이용하여 안테나 매칭 부분이나 필터들이 집적되어 있는 구조도 해석 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] A. F. Gangi, S. Sensiper and G. R. Dunn, "The characteristics of electrically short umbrella top-loaded antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. AP-13, pp. 864, 1965.
- [2] T. L. Simpson, "The disk loaded monopole antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 52, no. 2, pp. 542-550, February 2004.
- [3] M. A. Morgan, F. K. Schwering, "Eigenmode analysis of dielectric loaded top-hat monopole antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 42, no. 1, pp. 54-61, January 1994.