

5.8GHz ISM 대역용 구형 유전체 공진 안테나 설계

김 원 루* · 이 권 익* · 홍 성 욱* · 김 흥 수**

Design of Rectangular Dielectric Resonant Antenna for 5.8GHz ISM Band

Won-Ryul Kim*, Kwoun-Ig Lee*, Seong-Wook Hong* and Heung-Soo Kim**

ABSTRACT

In this paper, the rectangular dielectric resonant antenna(DRA) in the microstrip feed line is designed for 5GHz band wireless LAN and ITS DSRC. Finite-difference time-domain(FDTD) method is employed to analyze the rectangular DRA. The return loss and resonant frequency are reported when the stub length of feedline, center position of DRA at $\lambda/2$ feed line and ϵ_r of DRA are changed. Also DRA in the microstrip feed line compared to DRA in the microstrip slot feed line. The result showed that DRA in the microstrip feed line is better than DRA in the microstrip slot feed line in the bandwidth and return loss.

Key words : Rectangular dielectric resonant antenna, resonant frequency, microstrip

1. 서 론

산업, 과학, 의료 분야에 적용되는 통신 시스템은 소출력이면서 허가를 받지 않고 사용하는 ISM (Industrial, Scientific, Medical) 주파수대를 사용하고 있으며 이런 ISM 대역을 사용하는 기기들은 점차 늘어나는 추세이다. 특히 지능형 교통 시스템(ITS, Intelligent Transport Systems)의 서비스를 제공하기 위한 통신수단으로서 노변 장치와 차량 탑재 장치간

의 단거리 전용 통신(DSRC, Dedicated Short Range Communication, 5.795~5.855GHz)과 2.4GHz대역에서 점차 5.8GHz 대역으로 옮겨지고 있는 무선랜에 대한 관심이 높아지면서 5.8GHz의 ISM 대역이 각광 받고 있다. 사용되어지고 있는 안테나로는 패치 안테나와 판넬 안테나, 다이폴 안테나, 그리드 안테나 등이 있다.

유전체 공진(DR, Dielectric Resonator) 안테나는 사용 주파수가 높을수록 다른 종류의 안테나보다 크기를 더욱 줄일 수 있으므로 통신기기들의 소형화 추세를 감안한다면 시장성이 큰 제품이 될 수 있으며, 그 구조가 간단하고, MIC(microwave integrated circuit)와의 호환성이 우수하다는 장점 등을 가지고 있다. DR 안테나는 직육면체와 원통형, 그리고 반구

* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 통신컴퓨터공학부, 산업기술연구소

Faculty of Telecommunication and Computer Eng., Res. Insti. Ind. Tech., Cheju Nat'l Univ.

형 유전체를 방사체로 사용해 왔다. 이러한 DR 안테나는 사용 유전체의 유전율이 낮을수록 높은 방사 효율을 가질 수 있으며 대체로 마이크로스트립 패치 안테나보다 광대역 특성을 가지고 있다. 또한 DR 안테나는 크기와 급전 방법을 달리함으로써 다른 안테나보다 대역폭 조절이 더 유리하다.

프로브와 루프의 방사 저항을 향상시키기 위한 높은 유전율을 갖는 유전체 공진기의 사용은 Sager와 Tisi에 의해 처음으로 제안되었다. 그리고 체계적인 실험연구는 Long 등에 의해 이루어졌고 다양한 모양의 유전체에 대한 많은 연구가 진행되고 있다^{1)~4)}. 구형 DR 안테나의 대역폭은 두 축의 비율에 달려 있기 때문에 안테나의 대역폭 조절면에서 다른 모양보다는 더 유연성을 갖는다.

급전 방법에는 동축 프로브와 마이크로스트립 슬롯 그리고 마이크로스트립 급전법 등이 있다. 프로브 급전 방법은 서로 다른 모드가 발생할 가능성이 크고, 슬롯과 급전선로의 스텐브를 조절하여 정합을 시키는 마이크로스트립 슬롯 급전 방법은 다른 급전 방법에 비해 구조나 제작이 복잡하고 어렵다는 단점을 갖는다. 마이크로스트립 급전 방식은 제작과 정합이 간단하다는 장점과 대역폭에 있어서도 다른 급전 방법에 비해 유리한 이점을 가지고 있다.

본 논문에서는 5.8GHz의 공진주파수를 갖는 구형 DR 안테나를 마이크로스트립 급전 방법을 적용하여 설계한다. 해석 방법으로는 3차원 시간영역 유한차분법(FDTD, Finite-Difference Time-Domain)을 사용한다. 또한 FDTD법을 적용한 마이크로스트립 급전 DR 안테나를 설계하여 해석하고 마이크로스트립 슬롯 급전 DR 안테나와 비교 분석한다. 스텐브 길이와 급전선로에 대한 유전체의 이동 길이와 DR 안테나의 유전율에 따른 입력 임피던스와 반사 손실을 살펴봄으로써 원하는 5.8GHz에서의 공진주파수와 대역폭을 갖는 구형 DR 안테나를 분석하고 설계한다.

II. 구형 유전체 공진 안테나

Fig. 1은 기판 위의 급전 선로 위에 유전체 안테나를 올려놓은 형태이다. 기판 밑에는 접지판이 놓여있다.

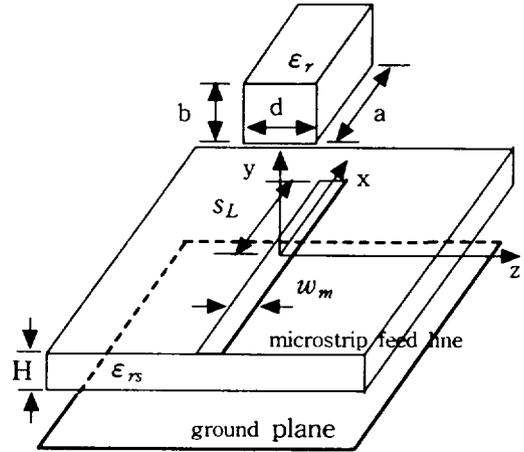


Fig. 1. Rectangular DR antenna in microstrip feed.

Fig. 1에서 a , b 와 d 는 구형 DR 안테나의 치수, w_m 은 급전선로의 폭, S_L 은 급전선로의 끝부분에서 안쪽으로 $\lambda/4$ 길이인 DR 안테나의 중심까지의 스텐브 길이, H 는 기판의 두께, ϵ_r 은 DR 안테나의 유전율, ϵ_{rs} 는 기판의 유전율이다. 구형 DR 안테나의 필드를 해석하기 위해 직각 좌표계를 사용하였다. 파동방정식에서 자기 포텐셜 F_z 의 해를 구하고 맥스웰 방정식으로부터 각 방향으로의 필드를 구한 후, 파수 k_z 에 대한 초월함수를 다음과 같이 유도할 수 있다⁴⁾.

$$k_x \tan(k_x d/2) = \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_z^2} \quad (1)$$

또한, 파수 k_x, k_y, k_z, k_0 의 관계식은 다음과 같다.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \epsilon_r k_0^2 \quad (2)$$

k_0 는 공진 주파수에 일치하는 자유공간의 파수이며 파수 k_x 와 k_y 는 다음과 같다.

$$k_x = \frac{\pi}{a}, \quad k_y = \frac{\pi}{b} \quad (3)$$

식(1)과 식(2)는 k_0 와 k_z 에 대한 이원 2차 방정식이므로 두 식의 해로부터 DR 안테나의 치수와 유전율

에 따른 공진주파수를 구할 수 있다.

$$C = \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} \frac{t}{H} \sqrt{\frac{w_m}{H}} \quad (10)$$

III. 마이크로스트립 급전 파라미터

DR 안테나의 마이크로스트립 구조를 이용한 급전 방법이 Fig. 1에 보여졌다. 이 DR 안테나를 급전선로 위에 위치시키고 접지 평면은 기판 아래 놓여진다. DR 안테나가 대칭적이라면 DR 안테나에 TE_{111}^* 모드가 여기된다. 5.8GHz 공진주파수로 설계하기 위하여 마이크로스트립 기판의 설계 조건인 Z_0 와 기판의 유전율 ϵ_r 의 관계를 적용하였다^{5,6)}.

($Z_0 > [44 - 2\epsilon_r]$)인 조건의 좁은 선로에서 급전선로의 폭을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{w_m}{H} = \left[\frac{e^h}{8} - \frac{1}{4e^h} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$h = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2(\epsilon_r + 1)} \left[\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right]^{-2} \quad (5)$$

여기서 H 는 기판의 두께이고 ϵ_r 는 기판의 유전율이다.

만약 $Z_0 > [63 - 2\epsilon_r]$ 일 때 유효 유전율을 ϵ_{eff} 로 다음과 같이 쓴다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2h(\epsilon_r + 1)} \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \right]^{-2} \quad (6)$$

급전선로의 길이를 구하는 식은 식(7)에서 식(10)으로 주어졌다.

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (7)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} F\left(\frac{w_m}{H}\right) - C \quad (8)$$

$$F\left(\frac{w_m}{H}\right) = \left(1 + 12 \frac{H}{w_m}\right)^{-1/2} \quad (W/H \geq 1) \quad (9)$$

여기서, λ 는 선로에서의 파장, λ_0 는 자유공간에서의 파장, t 는 급전선로의 두께이다. 식(7)-식(10)으로부터 전체 급전선로의 길이는 $3\lambda/4$ 로 계산되며 DR 안테나의 중심은 급전선로 끝에서 안쪽으로 $\lambda/4$ 에 위치시킨다. 스텐브 길이(S_L)와 DR 안테나의 위치 변화는 임피던스에 영향을 미친다. 스미스 차트 상에서 스텐브의 길이를 길게 하면 임피던스의 궤적이 시계 방향으로 레지스터스 원을 따라 회전한다. 원하는 주파수에서 임피던스 값이 순 실수가 되도록 스텐브 길이를 조절한다. DR 안테나의 위치를 급전점으로 이동시켰을 경우에 임피던스 궤적은 커진다. 스텐브 길이와 DR 안테나의 위치에 따라 임피던스와 리액턴스의 값을 변화시키므로써 50Ω에 정합 시킬 수 있다.

IV. 수치해석 결과 및 고찰

FDTD법에 사용된 한 셀의 크기는 $\Delta x = 0.39375\text{mm}$, $\Delta y = 0.5\text{mm}$, $\Delta z = 0.4\text{mm}$ 이다. 시간 간격은 Courant 안정 조건을 만족하기 위하여 $\Delta t = 0.75\text{ps}$ 이고 펄스 폭 $T = 0.07\text{ns}$ 이며 원하는 주파수 대역을 포함하도록 $t_0 = 3T$ 로 선정하였다. FDTD법을 이용하여 설계하기 위한 DR 안테나의 크기와 급전부의 파라미터 값을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Microstrip parameter of DR antenna ($\epsilon_r = 21$, $a = 12\text{mm}$, $b = 4\text{mm}$, $d = 5.5125\text{mm}$)

Height H	Permittivity ϵ_r	Stub Length S_L	Feed Line Width w_m
1.6mm	4.22	1mm	3.15mm

급전 선로에 급전을 하기 위해 계단식 급전 근사 방법을 사용하였고⁷⁾ 경계 조건은 Mur의 1차 흡수경계조건을 적용하였다. 안테나 구조로부터 흡수경계면

사이 간격은 약 35개의 셀 간격으로 선정하였고, 입력 응답이 거의 0이 되도록 시간 간격을 6500번으로 설정하여 계산하였다.

파수의 변동과 반사손실 값의 차이가 많이 나는 것을 볼 수 있다. 이것은 스택브 길이에 따른 안테나의 정합과 연관이 있기 때문이다.

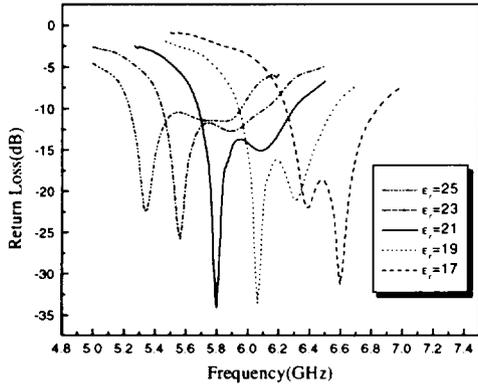


Fig. 2. Return Loss of DRA against frequency for different ϵ_r .
($a=12\text{mm}$, $b=4\text{mm}$, $d=5.5125\text{mm}$)

Fig. 2는 DR 안테나의 유전율과 반사손실과의 관계를 나타낸 것이다. 유전율이 작아질수록 공진주파수는 커짐을 볼 수 있다.

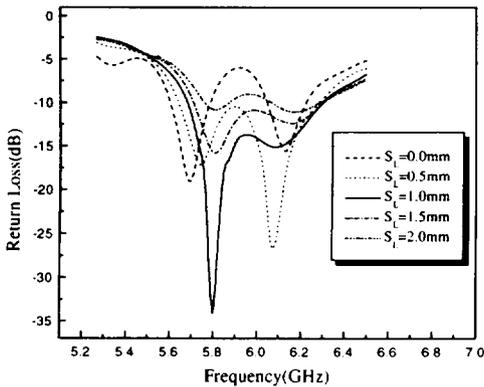
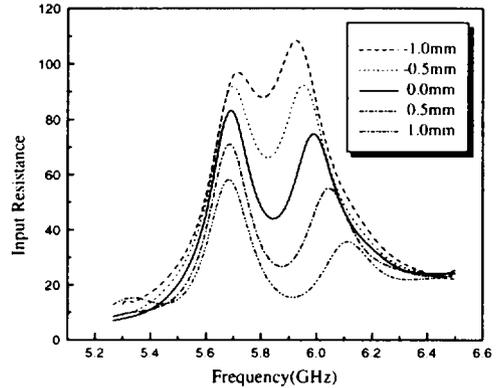
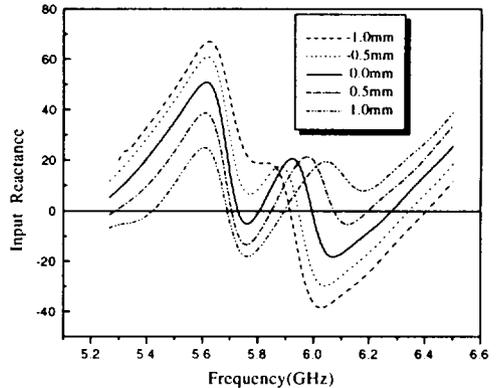


Fig. 3. Return Loss of DRA against frequency for different stub length S_L .
($\epsilon_r=21$, $a=12\text{mm}$, $b=4\text{mm}$, $d=5.5125\text{mm}$)

Fig. 3은 스택브 길이 S_L 에 따른 반사손실 값의 변화를 나타낸 것이다. 스택브 길이의 변화에 따라 주



(a)



(b)

Fig. 4. Input impedance against frequency for different DR position at feed line $\lambda/2$.
($\epsilon_r=21$, $a=12\text{mm}$, $b=4\text{mm}$, $d=5.5125\text{mm}$)

Fig. 4는 급전 선로 $\lambda/2$ 위치를 중심으로 유전체를 이동시키면서 측정된 입력 임피던스의 값이다.

Fig. 5와 6은 각각 마이크로스트립 급전과 마이크로스트립 슬롯 급전 방법을 이용한 구형 DR 안테나의 입력 임피던스를 나타낸 것이다. Fig. 7은 Fig. 5와 6의 입력 임피던스에 따른 반사 손실을 나타낸 것이다. 스트립 급전 DR 안테나의 공진 주파수는 5.800GHz이고 그 때의 반사손실은 -34dB이며 대역폭

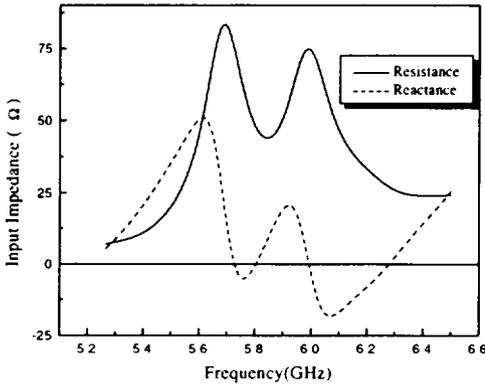


Fig. 5. Input impedance of DRA in microstrip feed.

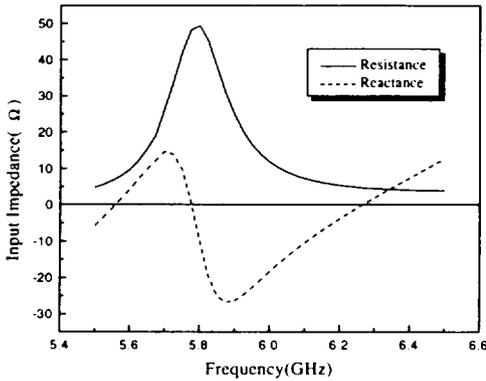


Fig. 6. Input impedance of DRA in microstrip slot feed.
($\epsilon_r=21$, $a=12\text{mm}$, $b=4\text{mm}$, $d=5.5125\text{mm}$)

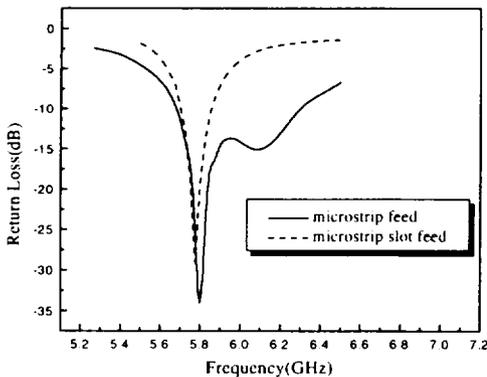


Fig. 7. Return loss of DRA in microstrip and slot feed.
($\epsilon_r=21$, $a=12\text{mm}$, $b=4\text{mm}$, $d=5.5125\text{mm}$)

은 5.678~6.298GHz이다. 슬롯 급전 DR 안테나의 공진주파수는 5.775GHz이고 반사손실은 -29dB이며 대역폭은 5.701~5.856GHz이다. 스트립 급전 DR 안테나가 슬롯 급전 DR 안테나보다 더 넓은 대역폭과 양호한 반사손실을 갖고 있음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 5.8GHz 무선랜용과 ITS DSRC 대역을 동시에 만족하는 마이크로스트립 급전 구형 DR 안테나를 FDTD법을 사용하여 해석하였다. 급전 소스는 계단식 급전 근사법을 사용하였고 Mur의 1차 흡수경계조건을 적용하였다. 그리고 마이크로스트립 급전 DR 안테나와 마이크로스트립 슬롯 급전 구형 DR 안테나를 설계하여 비교하였다. 그 결과 스트립 급전 안테나의 대역폭은 5.678~6.298GHz로서 슬롯 급전 안테나의 대역폭 5.701~5.856GHz보다 더 넓은 대역폭임을 확인할 수 있었고 반사손실도 스트립 급전 DR 안테나가 -34dB로 슬롯 급전 DR 안테나의 -29dB보다 더 양호함을 알 수 있다. 마이크로스트립 급전방법에서의 안테나 정합은 스테브 길이 S_L 과 유전체의 위치를 적절히 조절함으로써 정합을 시킬 수 있다. 급전부의 스테브 길이와 유전체의 중심 위치, 그리고 유전체의 유전율에 따른 입력 임피던스와 반사손실 및 공진 주파수를 비교 분석함으로써 원하는 공진주파수를 얻을 수 있는 방법을 제시하였다.

참고 문헌

- 1) Leung, K.W., Luk, K.M., Lai, K.Y.A., and Lin, D., 1993. Theory and experiment of a coaxial probe fed hemispherical dielectric resonator antenna. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 41, pp.1390-1398.
- 2) Leung, K.W., Chow, K.Y., Luk, K.M., and Yung, E.K.N., 1997. Low-profile circular disk DR antenna of very high permittivity excited by a microstripline. *Electron. Lett.*, Vol.33, No.12, 5th.

- pp.1004-1005.
- 3) Esselle, Karu P., 1996. A low-profile rectangular dielectric resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 44, pp.1296-1297.
 - 4) R. K. Mongia, 1992, Theoretical and experimental resonant frequencies of rectangular dielectric resonators, *Proc. Inst. Elect. Eng.*, vol. 139, pt. H, Feb, pp.98-104.
 - 5) Sainati, Robert A., 1996. *Cad of Microstrip Antennas for Wireless Applications*, Artech House, pp.21-97.
 - 6) Trinogga, L.A., Kaizhou, G., Hunter, I.C., 1991, *Practical Microstrip Circuit Design*, Ellis Horwood, pp.21-34.
 - 7) R. J. Luebbers, 1996. A Simple Feed Model that Reduces Time Steps Needed for FDTD Antenna and Microstrip Calculations, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol.44, pp.1000-1005.