

무선 LAN용 개구결합 마이크로스트립 원통형 유전체 공진 안테나 설계 및 제작

Design and Fabrication of Aperture-Coupled Microstrip Cylindrical Dielectric Resonant Antenna for Wireless LAN

이 권 익* · 김 흥 수**

Kwoun-Ig Lee* · Heung-Soo Kim**

요 약

비유전율 $\epsilon_r = 36$ 인 유전체를 이용한 무선 LAN용 개구 결합 마이크로스트립 원통형 유전체 공진 안테나(DRA)를 설계하고 제작하였다. 무선 급전 소자는 마이크로스트립 전송 선로 이론을 이용하여 급전 선로 길이, 선로 폭, 슬롯 길이, 슬롯 폭과 스티브 길이를 계산하였다. 방사 소자는 원통형 유전체 cavity 이론을 이용하여 설계하였다. 제작된 원통형 DRA의 공진주파수는 2.449 GHz이고 VSWR, 반사 손실과 대역폭은 각각 1.009, -47 dB와 70 MHz이다. 방사 패턴의 전후방비는 12 dB이고 E면과 H면의 3 dB빔폭은 각각 110°과 90°이다.

Abstract

In this paper, an aperture-coupled microstrip cylindrical dielectric resonant antenna(DRA) consisting of dielectric material with permittivity $\epsilon_r = 36$ is designed and fabricated for wireless LAN. First of all, the feedline length, width, slot length and width of the feeding element were calculated using the theory of microstrip transmission line. Radiation element is designed using the theory of cylindrical dielectric cavity. Resonant frequency of the fabricated cylindrical DRA is 2.449 GHz and VSWR, return loss and bandwidth is 1.009, -47 dB and 70 MHz, respectively. Front-to-back radiation ratio is about 12 dB and 3 dB beamwidth of E-plane and H-plane is 110° and 90°, respectively.

I. 서 론

무선 LAN은 유선 LAN에서의 설치, 유지보수, 재배치, 이동이 어렵고 재해 시 네트워크의 단절이라는 단점들을 해소하고 긴급, 임시 네트워크 구축의 필요성이 증대되면서 등장하게 되었다. 무선 LAN은 네트워크 구축 시 유선을 사용하지 않고 전파나 레이저 등을 이용하여 네트워크를 구축하는

방식으로 무선 LAN은 전송 방식에 따라 여러 가지 제품이 있으나 도달거리, 성능, 보안성 등을 고려하여 ISM Band를 이용하는 무선 LAN이 가장 보편화되어 있다. 이러한 무선 LAN은 각 조직의 개인용 컴퓨터 및 서버들간의 전송 데이터를 전파 신호나 광신호로 변환하여 무선으로 송수신하는 시스템으로 빌딩과 빌딩 사이의 네트워크 연결 및 단말기의 이동성이 요구되는 지역 또는 케이블 배선이 곤란

「본 연구는 1999년도 제주대학교 발전기금 국외파견연구지원에 의하여 연구되었음.」

*제주대학교 통신공학과(Dept. of Telecommunication Eng., Cheju Nat'l Univ.)

**제주대학교 통신컴퓨터공학부(Faculty of Telecommunication and Computer Eng., Cheju Nat'l Univ.)

· 논문 번호 : 20001220-147

· 수정완료일자 : 2001년 2월 21일

한 지역 등에 다양하게 적용되고 있다. 이러한 무선 LAN과 같은 무선 환경에서 안테나는 중요한 역할을 한다. 즉, 전파의 도달 거리를 증가시키고 다양한 환경에서 안테나의 종류에 따라 사용자에게 맞는 해결책을 제시하기 때문이다. 안테나는 각 제품별로 기본적인 소형 안테나가 제공되며, 보다 높은 데이터 전송거리를 요할 때에는 별도의 안테나를 설치하는 경우도 있다. 무선 LAN 환경에서 적용되는 안테나는 소형이면서 경량인 특성과 지향성과 무지향성 특성을 갖는 안테나 제작이 필수적이다.

일반적인 안테나 구조는 와이어, 반사기, 마이크로스트립 패치 등과 같은 전기적인 도체 소자를 사용하여 설계된다. 이러한 안테나의 유전체 부분은 안테나 시스템 내에서 부품을 지지하거나 격리시키는데 사용된다. 이것들은 polyrod 안테나, 렌즈 안테나 또는 낮은 부엽 혼 안테나에 대한 명확한 편파 특성을 수행할 수 있는 방사소자에 대한 유전체로 사용되었다. 이러한 방사소자의 장점은 동일한 크기의 마이크로스트립 안테나와 비교하여 고주파수에서 낮은 저항 손실, 광대역 특성 그리고 명확한 방사 특성 성능을 제공한다.

유전체 공진 안테나에 대한 초기의 실험적인 연구는 유전체 공진 안테나가 마이크로파 주파수에서 효율적인 방사기라는 것을 입증하였다^[1]. 게다가 동축 프로브로 급전되는 원통형 유전체 공진 안테나(dielectric resonant antenna : DRA)의 대역폭은 HEM₁₁ 모드에서 여기되는 단일 유전체 공진기에 대해서 10%가 증가하고 두 개의 유전체 공진기를 쌓아올린 것에 의한 대역폭은 25 % 이상 증가하는 구조를 갖는다^[2]. 다른 연구자들은 마이크로스트립 전송 선로, 개구면 및 환형 결합 마이크로스트립 전송 선로와 평행 도파관과 같은 여기의 또 다른 형태를 연구하였다^{[3]~[6]}. 또한 원통형 DRA와 다른 구조의 구형 평행 육면체, 반구와 반으로 쪼개진 원통형 안테나에 대한 연구도 진행되었다^{[7]~[9]}. 유전체 공진 안테나의 방사 특성을 개선하기 위해 유전체는 도체 링 위에 적재되어진다. 이러한 구조는 HEM₁₁ 모드에 대한 broadside 방사 패턴의 지향성을 증가시킨다.

DRA의 구조와 성능에 있어서 중요한 고려사항은 급전 메카니즘 형태이다. 이것은 특정 방사 특성, 정합 목적과 실제적인 제작을 쉽게 하기 위한 유전

체 방사기에서 원하는 모드로 여기하기 위한 중요한 방법이다. 동축 프로브 급전은 안테나의 모드 급전 방법이 비교적 쉽지만 프로브를 공진기 내부로 삽입하는 것이 어렵다는 단점이 있다^[10]. Ittipiboon 등은 2.7 GHz대역에서 마이크로스트립 선로를 이용한 급전 방법에 대해서 논의하였으며 급전 메카니즘으로서 슬롯 결합은 유전상수 $\epsilon_r=10$ 인 유전체 매질의 유전체 원판에 대해서 HEM₁₁ 모드에서 결합하는 방법을 연구하였다^[4]. 슬롯 결합은 급전과 방사구조 사이의 격리를 제공하는 장점을 갖고 있으며, 이러한 형태의 안테나에 대해서 슬롯은 특정 모드를 유전체 내부로 여기 시켜 원하는 방사 특성을 형성하게 된다.

본 연구에서는 마이크로스트립 선로 이론과 유전체 공진 이론을 이용하여 ISM 대역 중 2.4 GHz에서 동작하는 개구결합 마이크로스트립 원통형 유전체 공진 안테나를 해석하고 설계하였다. 개구결합 마이크로스트립 급전부를 해석하기 위해 마이크로스트립 선로 이론을 근거로 하여 임피던스가 50Ω에 정합이 되도록 선로폭, 스텐드 길이, 슬롯의 길이와 폭을 결정하였다. 설계 파라미터를 이용하여 원하는 동작 주파수에서 개구결합 마이크로스트립 유전체 공진 안테나를 설계하고 제작하였다.

II. 개구결합 원통형 유전체 공진 안테나

2-1 마이크로스트립 전송 선로 이론

마이크로스트립 급전을 이용한 안테나에 대해서 마이크로스트립 급전에 대한 분석 기술은 마이크로스트립 전송 선로이론을 적용한다. 많은 연구자들이 전송 선로 파라미터에 대한 계산식을 개발하였다. 그림 1과 같은 구조에서 특성 임피던스 Z_0 와 상대 유전상수 ϵ_r 이 주어졌을 때 각각의 파라미터값들은 다음식과 같이 주어진다^[11].

$Z_0 > (44 - 2\epsilon_r)$ 인 좁은 스트립에 대해서

$$\frac{w}{h} = \left(\frac{\exp H}{8} - \frac{1}{4 \exp H} \right)^{-1} \quad (1)$$

여기서

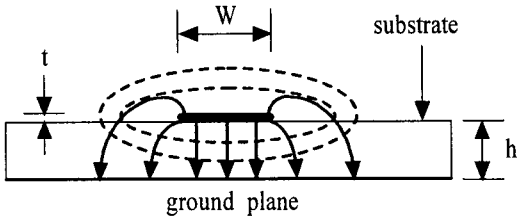


그림 1. 마이크로스트립 단면에서의 필드 분포
Fig. 1. Microstrip cross section with field distribution.

$$H = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \quad (2)$$

$Z_0 > (63 - 2\epsilon_r)$ 인 스트립에 대해서

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{2H} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \cdot \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \right\}^{-2} \quad (3)$$

$Z_0 < (44 - 2\epsilon_r)$ 인 넓은 스트립에 대해서

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \{ (d_e - 1) - \ln(2d_e - 1) \} + \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left\{ \ln(d_e - 1) + 0.293 - \frac{0.517}{\epsilon_r} \right\} \quad (4)$$

여기서

$$d_e = \frac{59.95\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

그리고 $Z_0 < (63 - 2\epsilon_r)$ 인 경우에 대해서는

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r}{0.96 + \epsilon_r(0.109 - 0.004\epsilon_r)[\log(10 + Z_0) - 1]} \quad (6)$$

이다.

2-2 개구결합 마이크로스트립 급전

그림 2는 개구결합 마이크로스트립 패치 안테나

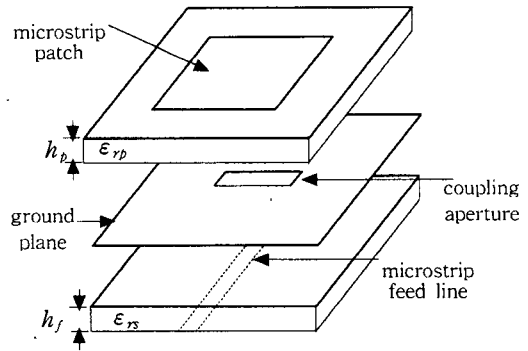


그림 2. 개구결합 마이크로스트립 패치 안테나
Fig. 2. Aperture coupled microstrip antenna.

구조이다. 이러한 형태의 안테나에서는 마이크로스트립 선로는 대략 $\lambda/4$ 길이로 슬롯의 뒤쪽으로 확장된다. 이것은 슬롯 가장자리가 단락회로이고 슬롯을 가로질러 전계가 최대가 되는 유효한 위치이다. 개구면 결합으로 급전했을 때 패치는 급전 선로에 직렬이다. 개구면이 작으면 작을수록 공진이 되며 이것은 단지 임피던스의 리액턴스에만 기여한다. 또한 슬롯 뒤의 스테브는 직렬 리액턴스로 나타난다. 스테브 길이가 증가할수록 일정한 저항 원을 따라 시계방향으로 회전한다. 스테브 길이가 $\lambda/4$ 에 근접하면 임피던스 곡선은 스미스차트상의 실수 축을 가로지른다. 스테브 길이는 동작 주파수에서의 임피던스가 순 실수가 될 때까지 조절한다. 정확한 스테브 길이를 선정함으로써 임피던스는 동작 주파수에서 순 실수가 될 뿐만 아니라 실수 임피던스 선에 대해 대칭이다. 스테브 길이는 임피던스 위치를 회전시키는 반면 개구면 길이는 결합량을 제어한다. 개구면 길이가 증가할수록 곡선은 오른쪽으로 이동한다. 길이를 조절함으로써 동작 주파수에서의 임피던스는 50Ω 또는 그와 유사한 값에 설정된다^[12].

2-3 원통형 유전체 공진 안테나

그림 3은 개구결합 마이크로스트립 유전체 공진 안테나를 나타내었다. 마이크로스트립 슬롯 급전 기술을 사용하여 유전체 공진 안테나에 대해서도 동일한 방법을 적용하여 동작주파수에서의 스테브 길이와 슬롯의 길이를 조절하여 정확한 결합과 최대

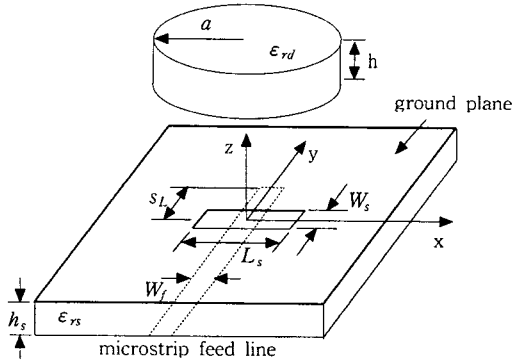


그림 3. 개구결합 마이크로스트립 급전 원통형 유전체 공진 안테나

Fig. 3. Configuration of aperture-coupled cylindrical DRA.

공진을 얻을 수 있다.

원통 좌표계의 스칼라 Helmholtz 방정식을 변수 분리법을 사용함으로써 다음과 같은 형태의 파동 방정식의 해를 구할 수 있다.

$$\psi = J_n(k_\rho \rho) \left\{ \begin{matrix} \sin n\phi \\ \cos n\phi \end{matrix} \right\} \cos \left[\frac{(2m+1)\pi z}{2h} \right] \quad (7)$$

그림 3은 표준 원통 좌표계를 사용한 유전체 공진 안테나의 기하학적 구조이다. 원통은 균일하다고 고려하여 $z=0$, $z=h$ 에서의 접선 전계 성분인 E_ρ 와 E_ϕ 는 zero라는 경계조건을 적용할 수 있다^[14]. 이런 원통 내부의 field에 대한 간략한 해는 표면이 완전 자기 도체라는 가정에 의해 얻을 수 있다. cavity에 대하여 z축에 대한 파 함수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\psi_{npm} = J_n \left(\frac{X_{np}}{a} \rho \right) \left\{ \begin{matrix} \sin n\phi \\ \cos n\phi \end{matrix} \right\} \cos \left[\frac{(2m+1)\pi z}{2h} \right] \quad (8)$$

표 1. 개구결합 마이크로스트립 설계 파라미터

Table 1. Design parameter of aperture-coupled microstrip ($\epsilon_r=4.22$, $h_s=1.6$ mm).

Feedline length (f_L)	Feedline width (W_f)	Stub length (s_L)	Slot length (L_s)	Slot width (W_s)
50.2 mm	3 mm	16.8 mm	9.8 mm	0.98 mm

여기서 J_n 은 1종 n 차 Bessel 함수이며 $n=1, 2, 3, \dots$, $p=1, 2, 3, \dots$, $m=0, 1, 2, \dots$ 이다.

분리 방정식 $k_\rho^2 + k_z^2 = k^2 = \omega^2 \mu \epsilon$ 를 이용하여 npm모드의 공진 주파수에 대한 표현은 다음과 같다.

$$f_{npm} = \frac{1}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{\left\{ \begin{matrix} X_{np}^2 \\ X'_{np}^2 \end{matrix} \right\} + \left[\frac{\pi a}{2h} (2m+1) \right]^2} \quad (9)$$

여기서 X_{np} 와 X'_{np} 는 각각 TE모드와 TM 모드의 고유치이다. 기본 모드는 낮은 공진 주파수를 갖는다. 이것은 $m=0$, $n=1$, $p=1$: $X'_{11}=1.841$ 에서 발생한다. 따라서 TM 모드에서의 공진 주파수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_{110}^{TM} = \frac{1}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{X_{11}^2 + \left(\frac{\pi a}{2h} \right)^2} \quad (10)$$

III. 안테나 설계 및 제작 결과

개구결합 마이크로스트립에 대한 급전부 설계 파라미터는 앞장의 전송 선로 이론으로부터 기판의 유전율값과 두께가 주어졌을 때 스트립 선로에서의 파장과 선로 폭을 결정한다. 본 연구에서는 비유전율 $\epsilon_r=4.22$, 두께 $h_s=1.6$ mm인 FR4 기판을 이용하여 동작 주파수에서 급전선로가 50 Ω이 되도록 설계하였으며 마이크로스트립 설계 이론에 의해 슬롯의 길이와 폭은 표 1에 나타내었다. 표 1의 설계 파라미터를 사용하여 Ansoft사의 HFSS로 시뮬레이션을 해본 결과 그림 4와 같이 공진 주파수 2.46 GHz에서 입력 레지스턴스는 47 Ω이고 리액턴스는 유도성 특성을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 2.45 GHz 주파수 대역에서 설계

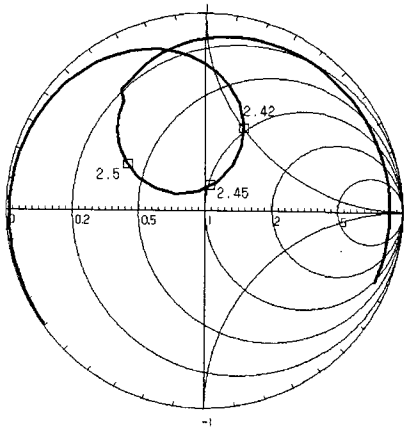


그림 4. 스미스 도표
Fig. 4. Smith chart.

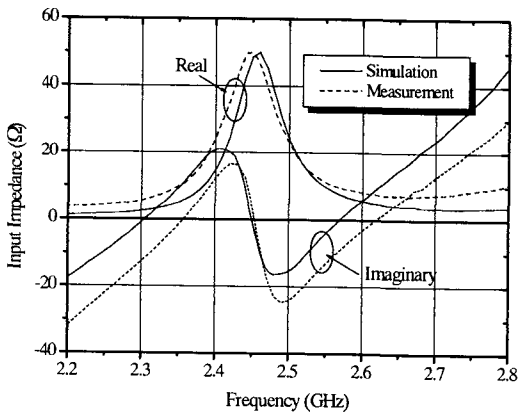


그림 5. 입력 임피던스
Fig. 5. Input impedance.

및 제작을 위하여 비유전율 $\epsilon_{rd}=36$ 인 유전체를 선택하였으며 동작 주파수가 2.45 GHz에서 공진할 수 있는 유전체의 반경과 높이는 각각 15 mm와 5.6 mm로 결정하였다. 그리고 그림 4는 설계된 안테나의 입력 임피던스를 나타낸 스미스 도표이다. 최대 정합을 시키기 위해 굵진 선로 길이 $f_L=43.4$ mm, 스텐브 길이 $s_L=10$ mm, 슬롯 길이 $L_s=9.34$ mm 그리고 슬롯 폭 $W_s=0.9$ mm로 조절하였다. 그림 5는 설계 및 제작된 유전체 공진 안테나의 입력 임피던스의 측정값과 이론값을 비교한 그림이다. 레지스턴스 성분은 설계 및 제작 값 모두 특성 임피던스 50 Ω 에 거의 정합이 되었다. 공진 주파수

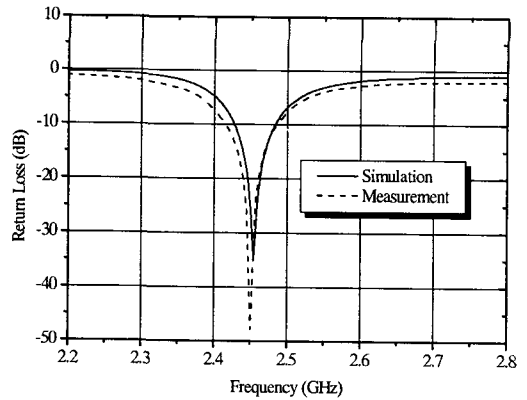


그림 6. 반사 손실
Fig. 6. Return loss.

는 원하는 주파수에서 설계 결과 값이 약 0.004 GHz 정도 이동하였고 제작 결과에서는 0.001 GHz 정도 이동하였으며 거의 원하는 주파수에서 공진이 되었음을 확인할 수 있었다. 그림 6은 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 측정은 vector network analyzer 360 B를 이용하여 측정하였다. 설계 값은 약 -34 dB 정도의 반사 손실과 60 MHz의 대역폭을 얻었지만 제작 값에서는 원하는 주파수에서 약 -47 dB 정도의 반사 손실과 70 MHz 정도의 대역폭을 얻을 수 있었다.

방사 패턴은 고주파 송신기를 사용하여 중심 주파수는 2.449 GHz로 송신하고 스펙트럼 분석기를 이용하여 제작된 안테나의 패턴을 측정하였다. 그림 7은 공진 주파수에서 시뮬레이션과 측정된 E면과 H면 방사 패턴을 나타내었다. 측정된 -3 dB 빔폭은 E면에서 110°이고 H-면에서는 90° 정도이다. 그리고 E면과 H면 모두 전후방비는 약 12 dB 정도이다. 제작된 안테나의 측정 결과를 분석하여 표 2에 요약하였다. 본 연구에서 제작된 원통형 DRA는 주파수 대역은 ISM Band 2.415~2.485 GHz이며 대역폭은 70 MHz 정도인 무선 LAN용 안테나^{[14],[15]}로 사용할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 마이크로스트립 선로 이론과 원통형 유전체 cavity 이론을 이용하여 2.45 GHz 주파수

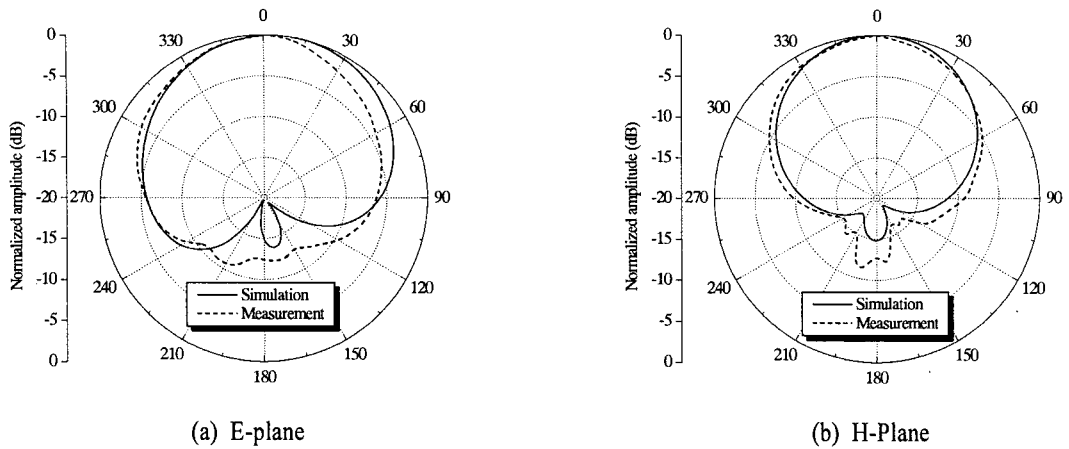


그림 7. 방사 패턴
Fig. 7. Radiation pattern.

표 2. 제작된 원통형 DRA의 실험 결과표

Table 2. Table of experimental result of the manufactured cylindrical DRA.

	제작된 안테나	상용화된 안테나 A	상용화된 안테나 B
주파수 범위 (GHz)	2.415~2.485	2.41~2.480	2.41~2.480
대역폭 (MHz) [VSWR<2]	70	----	----
임피던스(Ω)	49.8	50	50
VSWR	1.009	1.5	1.5
이득 (dBi)	4.6	7	2
크기(mm)	80×80×10	125×175×30	80×55×20
3dB 빔폭 (°)	110	55	75
	90	60	65

대역에서 동작하는 개구결합 마이크로스트립 유전체 공진 안테나를 설계하고 제작하였다.

개구결합 마이크로스트립 급전부를 해석하기 위해 마이크로스트립 선로 이론을 근거로 하여 선로 폭, 스텐드 길이, 슬롯의 길이와 폭을 설계하였다. 그리고 스텐드 길이와 슬롯의 길이를 적절히 조절하여 동작 주파수에서 임피던스를 50 Ω 에 정합이 되도록 설계하였다. 유전체 공진 안테나는 유전체로 채워진 원통형 cavity 이론을 적용하여 동작 주파수에의 반경과 높이를 설계하고 제작하였다. 그 결과 2.449 GHz 동작 주파수에서 -47 dB 정도의 반사

손실과 -3 dB 빔폭은 E면과 H면 각각 110°와 90° 그리고 전후방비는 12 dB 정도를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 제안한 개구 결합 마이크로스트립 원통형 DRA는 ISM Band를 사용하는 무선 LAN의 방사 소자로서 적용 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. A. Long, "The resonant cylindrical dielectric cavity antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, pp. 406-412, 1983.

- [2] S. M. Shum and K.M. Luk, "FDTD analysis of probe-fed cylindrical dielectric resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 325-333, 1998.
- [3] K. W. Leung, K. M. Luk, and K. M. Chow, "Low-profile circular disk DR antenna of very high permittivity excited by a microstripline", *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 12, pp. 1004-1005, June, 1997.
- [4] A.A. Kishk, A. Ittipiboon, Y.M.M. Antar and M. Cuhaci, "Slot excitation of the dielectric disk radiator", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, pp. 198-201, Feb., 1995.
- [5] R. A. Kranenburg, S. A. Long and J. T. Willians, "Coplanar waveguide excitation of dielectric resonator antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, pp. 119-122, Jan., 1991.
- [6] K. W. Leung, K. M. Luk, E. K. N. Yung and W. C. Wong, "Annular slot-coupled dielectric resonator antenna", *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 13, pp. 1275-1277, June, 1998.
- [7] K. P. Esselle, "A low-profile rectangular dielectric-resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 1296-1297, 1996.
- [8] A. A. Kishk, G. Zhou and A. W. Glisson, "Analysis of dielectric-resonator antennas with emphasis on hemispherical structures", *IEEE Antenna Propagat. Magazine*, vol. 36, pp. 20-31, 1994.
- [9] G. P. Junker, A. A. Kishk and A. W. Glisson, "Multiport network description and radiation characteristics of coupled dielectric resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 425-432, 1998.
- [10] G. P. Junker, A. A. Kishk and A. W. Glisson, "Input impedance of dielectric resonator antennas excited by a coaxial probe", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, pp. 960-966, 1994.
- [11] T. Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design*, John Wiley & Sons, pp. 44-54, 1991.
- [12] P. L. Su and H. S. Daniel, "Analysis of an aperture coupled microstrip antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no. 8, pp. 977-984, Aug., 1996.
- [13] R.F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill, pp. 198-254, 1961.
- [14] <http://www.rftnc.com/>
- [15] <http://www.atctel.co.kr/>

이 권 익



1993년: 제주대학교 통신공학과(공학사)
 1997년: 제주대학교 대학원 통신공학과 (공학석사)
 1998년~현재: 제주대학교 대학원 통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 전자파 수치해석

김 흥 수



1978년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1980년: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)
 1990년: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
 1987년~현재: 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 교수

[주 관심분야] 전자파 산란, 안테나 설계