

S-밴드용 원형 마이크로스트립 패치 2×2 배열 안테나의 설계

Design of Circular Microstrip Patch 2×2 Array Antenna for S-band Applications

안용복*, 최병하**

Yong-Bok Ahn* and Byoung-Ha Choi**

요 약

본 논문에서는 ISM(Industrial, Scientific, Medical)대역과 Wireless LAN대역을 위한 S-band에서 동작하는 마이크로스트립 안테나를 설계 및 제작을 하였다. 기존의 사각패치 안테나 소자가 아닌 원형패치 안테나 소자 4개를 평면상에 2×2로 배열하였다. 단일 원형패치의 크기를 계산하여 최적화하였으며 방사소자 간의 간격을 0.24λ로 배열하였다. 원형패치 안테나 소자를 사용함으로써 기존의 사각패치 안테나 소자를 이용한 것 보다 8%의 크기를 감소시켰다. 제안된 안테나는 E-평면에서는 안테나 이득 12.7 [dBi], 3 dB 빔폭은 40°를 나타냈으며 H-평면에서는 안테나 이득 12.1 [dBi], 3 dB 빔폭은 45°라는 특성을 나타내었으며, 250[MHz]의 대역폭 (VSWR < 2)을 얻었다.

Abstract

In this paper, we have designed and fabricated microstrip antenna of S-band for the wireless LAN and the ISM. It array 2×2 circular patch antenna elements at plane instead of conventional rectangular patch antenna elements. It optimized to size calculated of single patch antenna. The radiation elements distance is array 0.24λ. The fabricated circular patch antenna decreased 8% of size compared to the conventional rectangular patch antenna. In the E-plane, designed circular microstrip patch 2×2 array antenna gain is 12.7[dBi], half power beam width is 40° and in the H-plane, antenna gain is 12.1[dBi], half power beam width is 45°. Bandwidth is 250[MHz] (VSWR < 2).

Key words : ISM대역, S-band, circular patch antenna, array antenna, access point antenna

I. 서 론

정보화 사회에서 무선 통신과 무선 기술의 발전은 다양한 분야에서 진행되고 있다. 또한 산업 및 의학용에서도 그 응용이 날로 증가하고 있는 현실에서 이러한 무선 기술의 기반을 형성하는 기술 중의 한 부분이

바로 안테나 기술인데, 송수신단의 최우선단인 안테나의 성능이 서비스 영역 및 서비스 형태에 따른 통신의 질을 좌우하게 되므로 무선 통신에서의 최적 안테나 설계가 점점 더 많은 관심을 받고 있다. 무선 통신에서 사용되는 안테나 중 마이크로스트립 안테나는 일반적인 마이크로파 안테나에 비하여 가격이 저렴하

* 목포해양대학교 해양전자통신공학과(Department of Marine Electronic & Communication Eng., Mokpo Maritime University)

** 목포해양대학교 해양전자통신공학부(Div. of Marine Electro. & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 안용복

· 접수일자 : 2007년 2월 1일

고, 박형(low profile), 경량(low weight)이며, 유전체 기판 위에 사진 부식 방법으로 대량 생산이 가능하고 설치가 용이하기 때문에 넓은 주파수 대역에서 응용되고 있다. 뿐만 아니라 다른 마이크로파 소자와의 집적 결합을 통한 집적화가 용이하여 무선 LAN용 기기의 전체적인 크기를 줄일 수 있고, 원통 주위에 설치할 수 있어 고속으로 움직이는 로켓, 미사일, 항공기와 같은 비행 물체에 널리 활용되고 있다[1],[2].

S 밴드 ISM 대역(Industrial Scientific and Medical)은 의료나 과학 및 공업적 용도에 이용하기 위하여 개방하여 놓은 주파수 대역으로, 전파 스펙트럼 관리상 일정한 요건이 만족되면 면허 없이 자유로이 이용하는 것을 허락하고 있다.

국제적으로 ISM 대역은 900MHz, 2.4GHz 및 5.7GHz, 24GHz등의 주파수대역을 할당하고 있으며 이 중에서 특히 2.4GHz 대역은 국제적으로 2400 - 2480MHz가 표준적으로 사용되고 있다.

본 논문에서는 실내에서 주로 사용하며 비교적 크기에 제한을 받지 않는 AP(Access Point)용 고효율 안테나를 설계하였다. 급전 방식은 프로브 급전방식보다 대역폭이 넓으며 개구결합 급전방식보다 제작상의 오차를 줄일 수 있는 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식을 적용하였다.

II. 단일 원형패치 안테나 설계

ISM 대역에 알맞은 동작특성을 갖는 단일 패치를 설계한 후 급전은 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식으로 광대역 특성을 얻기 위해 접지면과 방사패치의 간격을 유전율이 1인 공기층으로 3 [mm]의 두께로 분리하고, 방사패치에 동일한 전력을 공급할 수 있도록 구성되어진 급전회로를 마이크로스트립 라인으로 구성하며, SMA 형태의 커넥터를 접지면 하단에 연결하여 급전하게 된다.

그림 1과 같은 구조의 원형 마이크로스트립 패치의 크기를 계산하기 위해서 즉, 캐비티 내에 계를 구하기 위하여 벡터 포텐셜과 파동방정식을 이용하게 된다 [3],[4].

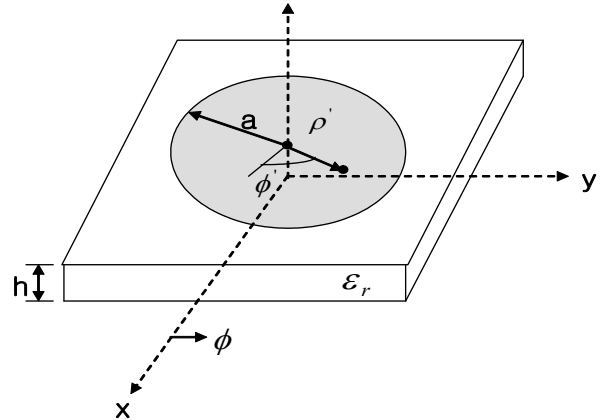


그림 1. 원형 마이크로스트립 패치 안테나 구조
Fig. 1. Circular Microstrip patch antenna structure

TM_z 에 대해 먼저 자계 벡터 포텐셜 A_z 를 구한다. 원통좌표 계에서 A_z 는 균질 파동방정식인 다음 식을 만족해야 한다.

$$\nabla^2 A_z(\rho, \phi, z) + k^2 A_z(\rho, \phi, z) = 0 \quad (2-1)$$

TM_z 모드에 대한 전개와 자계는 벡터 포텐셜 A_z 와 다음 관계로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} E_\rho &= -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 A_z}{\partial \rho \partial z} , & H_\rho &= \frac{1}{\mu} \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_z}{\partial \phi} \\ E_\phi &= -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 A_z}{\partial \phi \partial z} , & H_\phi &= -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial \rho} \\ E_z &= -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right) A_z , & H_z &= 0 \end{aligned} \quad (2-2)$$

다음의 경계조건에 의해

$$\begin{aligned} E_\rho(0 \leq \rho' \leq a, 0 \leq \phi' \leq 2\pi, z' = 0) &= 0 \\ E_\rho(0 \leq \rho' \leq a, 0 \leq \phi' \leq 2\pi, z' = h) &= 0 \\ E_\rho(\rho' = a, 0 \leq \phi' \leq 2\pi, 0 \leq z' \leq h) &= 0 \end{aligned} \quad (2-3)$$

자계 포텐셜 A_z 는

$$Z_z = B_{mnp} J_m(k_\rho \rho') [A_2 c(m\phi')] \quad (2-4)$$

으로 된다. 여기서

$$(k_\rho)^2 + (k_z)^2 = k_r^2 = \omega_r^2 \mu \epsilon \quad (2-5)$$

이다. 프라임(')으로 표시된 원통 좌표계 ρ', ϕ', z' 는 캐비티 내의 계를 나타내기 위하여 사용되고 $J_m(x)$ 는 제 1종 m 차 베셀 함수이며,

$$k_\rho = \chi'_{mn}/a \quad (2-6)$$

$$k_z = \frac{p\pi}{h} \quad (2-7)$$

$$m = 0, 1, 2, \dots \quad (2-8a)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad (2-8b)$$

$$p = 0, 1, 2, \dots \quad (2-8c)$$

식(2.7)에서 χ'_{mn} 은 베셀 함수 $J_{(m)}(x)$ 가 0이 되는 값들을 나타내고 이 값들은 공진 주파수의 차수를 결정한다. χ'_{mn} 의 첫 번째 4개 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \chi'_{11} &= 1.8412 \\ \chi'_{21} &= 3.5042 \\ \chi'_{01} &= 3.8318 \\ \chi'_{31} &= 4.2012 \end{aligned} \quad (2-9)$$

캐비티의 공진 주파수와 마이크로스트립 안테나의 공진주파수는 식(2-5)~(2-8)에 의해 구할 수 있다. 일반적인 안테나의 기관두께 h 는 매우 작기 때문에(일반적으로 $h < 0.05\lambda_0$) z 에 대한 계는 중요한 값이며, 식(2-8c)에서 $p = 0$ 이면 식(2-7)에서 $k_z = 0$ 이 되기 때문에 공진주파수는 다음과 같이 된다.

공진 주파수 :

$$(f_r)_{mno} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu \epsilon}} \left(\frac{\chi'_{mn}}{a} \right) \quad (2-10)$$

공진 주파수는 프링징 효과(fringing effect)를 고려하지 않았다. 프링징 효과에 의하여 패치의 확장된 전기적 길이 즉 교정인자를 도입하여 계산하면 실효반경 a_e 를 구할 수 있다.

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} l \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1.7726 \right\}^2 \quad (2-11)$$

실효유전율 :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (2-12)$$

특성 임피던스 :

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{2\pi \sqrt{\epsilon_{re}}} l \frac{8h}{W} + 0.25 \frac{W'}{h}$$

$$\cdot \frac{W}{h} \leq 1$$

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{W}{h} + 1.393 +$$

$$0.667l \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right)^{-1}$$

$$\cdot \frac{W}{h} \geq 1 \quad (2-13)$$

표 1. 단일 원형패치 안테나의 설계 사양
Table 1. Specification of the Single Microstrip Circular Patch Antenna

Items	Specification
Frequency	2.45 [GHz]
V-SWR	≤ 2
Input - Impedance	50 [Ω]
Radiation Pattern	Directional
Antenna Gain	≥ 6 [dBi]
Half Power Beam Width	≥ 45 [deg.]
Bandwidth	≥ 100 [MHz]

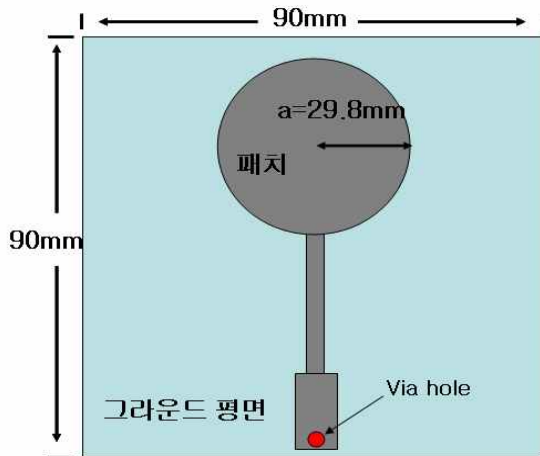


그림 2-1. 단일 원형패치 안테나

Fig 2-1. Single Circular Microstrip Patch Antenna

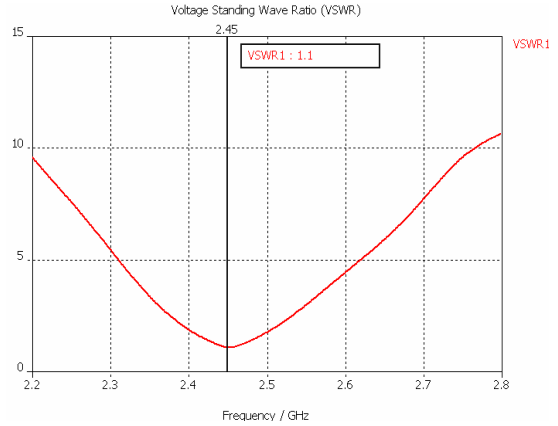


그림 2-4. 전압정재파비

Fig 2-4. VSWR

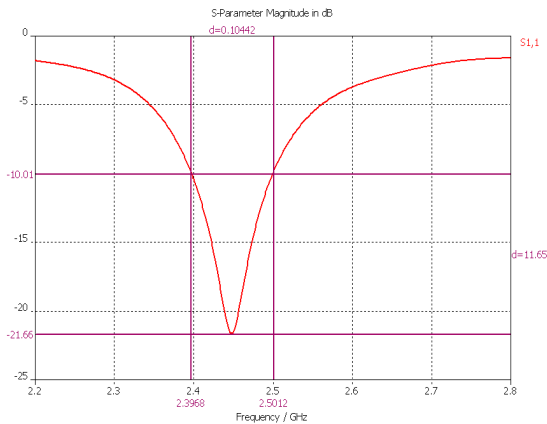


그림 2-2. 입력 반사손실

Fig 2-2. Input Return-loss

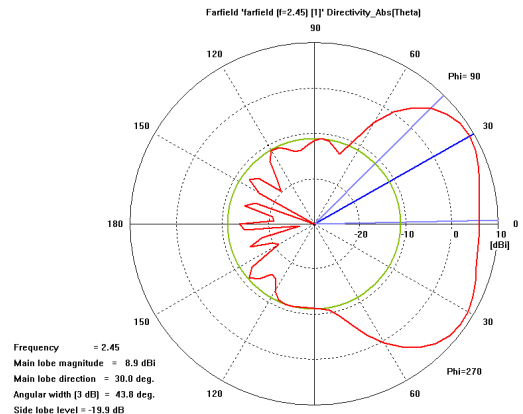


그림 2-5. E-평면 방사패턴

Fig 2-5. Radiation pattern of E-plane

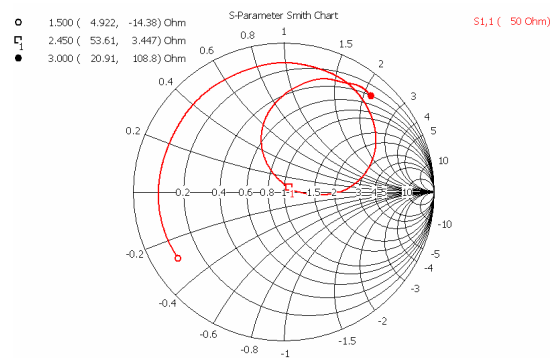


그림 2-3. 입력 임피던스

Fig 2-3. Input Impedance

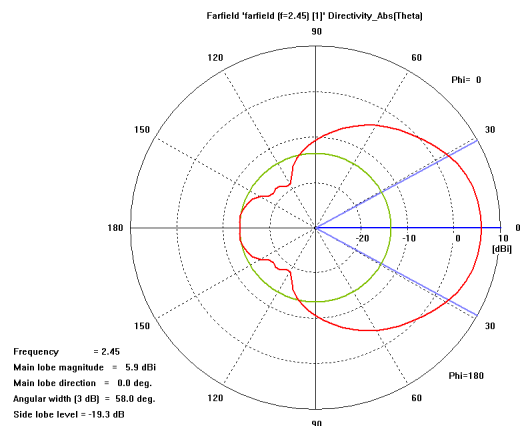


그림 2-6 H-평면 방사패턴

Fig 2-6 Radiation pattern of H-plane

안테나의 특성을 결정해 주는 파라미터들은 방사 패치의 반지름(a), 유전율(ϵ_r), 스테르브의 길이 등이 있으며, 각각의 파라미터 변화에 따라 안테나의 공진 주파수, 임피던스, 대역폭, 결합크기가 달라진다.

PCAAD 3.0 툴을 이용해 계산되어진 공진패치를 안테나 설계 프로그램인 CST사의 MWS 5.0툴에 의해서 최적화 시킨 결과 공진 주파수 2.45 [GHz]에서 공진패치의 반지름 $a=29.8$ [mm]가 되었고, 이를 그림 2-1.에서 보여주고 있다. 최적 설계된 단일 공진패치의 입력 반사손실과 입력 임피던스를 측정하였다. 그림 2-2는 안테나의 입력 반사손실을 그리고 그림 2-3은 입력 임피던스를 그림 2-4는 정재파비를 보여준다. 그림 2-2에서 입력 반사손실 -21.7 [dB]로 잘 설계되어졌지만 VSWR 2:1인 범위가 104 [MHz]로 대단히 좁은 특성을 나타낼을 알 수 있었다. 그림 2-5와 2-6은 E-평면과 H-평면에서의 방사패턴 특성을 보여주는 것으로 중심주파수 2.45[GHz]에서 안테나의 이득은 8.9 [dBi], 5.9[dBi] 그리고 3dB 빔폭은 E-평면에서 43° 를 H-평면에서는 58° 를 나타낼을 알 수 있었다.

III. 2x2 배열 안테나 설계

앞서 설계한 단일 원형 패치 안테나를 최적의 전력 분배기를 사용하여 15% 정도 대역폭 개선효과가 있는 병렬 배열 형태로 방사패치 간격을 조절하여 2x2 배열 원형 패치 안테나를 설계하였다. 배열 패치 안테나 소자의 간격은 그레이팅 로브를 피하기 위해 자유 공간파장(λ) 보다는 작게, 상호결합을 줄이고 주어진 소자 개수에서 최대이득을 얻으며 급전선 간의 충분한 공간을 확보하고자 $\lambda/2$ 이상 되도록 선택하는데, 방사패치간의 상호결합을 고려하여 약 0.76λ 간격으로 균일분포 형태로 하였다[5].

마이크로스트립 배열 안테나의 설계 과정은 먼저 설계할 안테나의 중심주파수를 설정하고 그 주파수에 맞는 단일 패치를 설계한 다음 원하는 이득과 빔폭, 방사패턴, 대역폭 등을 고려하여 배열 방사패치의 개수와 배열 구조, 배열 방법 등을 결정한다[6],[7]. 그런 다음 정해진 구조에 따라 급전회로를 구성하면 된다. 설계된 2x2 배열 원형 패치 안테나의 구조는 그림 3-1과 같으며, 안테나의 시뮬레이션 결과는 그림 3-2~3-5와 같다.

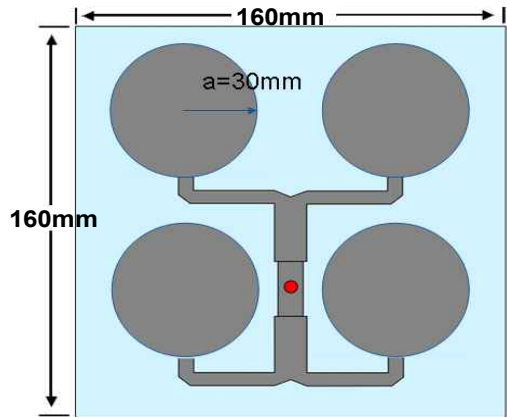


그림 3-1. 2x2 배열 원형패치 안테나
Fig 3-1. 2x2 Array Circular Patch Antenna

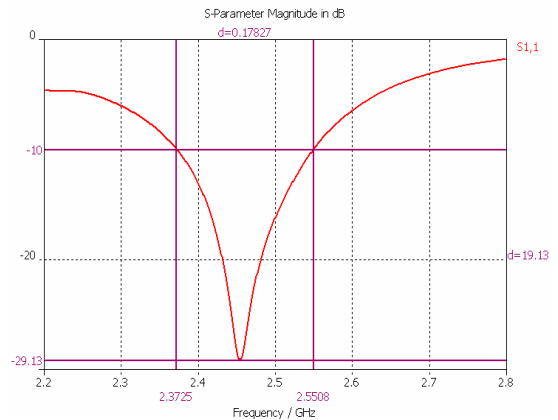


그림 3-2. 입력 반사손실
Fig 3-2. Input Return-loss

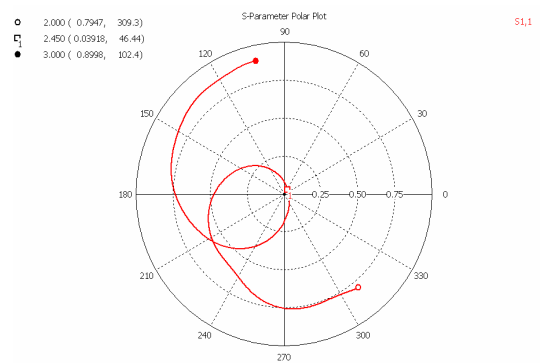


그림 3-3. 입력 임피던스
Fig 3-3. Input Impedance

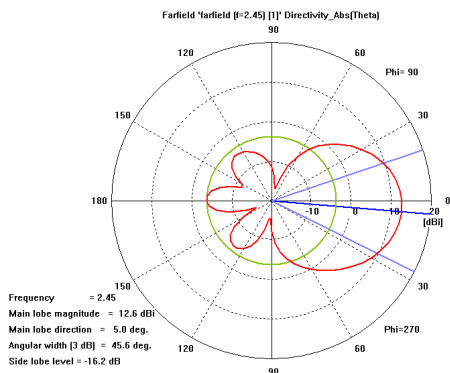


그림 3-4. E-평면 방사패턴
Fig 3-4. Radiation pattern of E-plane

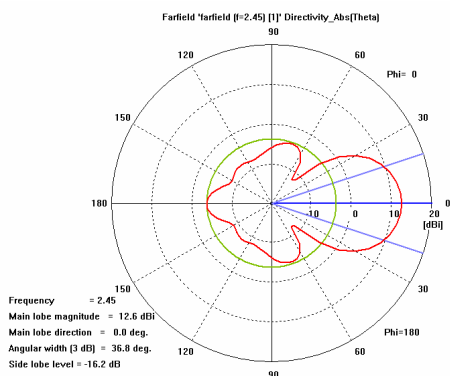


그림 3-5. H-평면 방사패턴
Fig 3-5. Radiation pattern of H-plane

최적화된 2×2 배열 원형 패치 안테나의 시뮬레이션 결과로 그림 3-2와 그림 3-3에서 안테나는 2.45 [GHz]에서 공진이 일어났으며, 반사손실 -10 [dB] (VSWR 2:1)가 되는 대역폭은 2.372 [GHz] ~ 2.550 [GHz]까지 약 178[MHz]정도 임을 알 수 있었다. 그림 3-4와 3-5은 E-평면과 H-평면에서의 방사패턴 특성을 보여주는 것으로 중심주파수 2.45[GHz]에서 안테나의 이득은 12.6 [dBi], 12.6[dBi] 그리고 3dB 빔폭은 E-평면에서 45.6°를 H-평면에서는 36.8°를 나타냄을 알 수 있었다.

IV. 안테나의 제작 및 측정

시뮬레이션에 의해 최적으로 설계되어진 S-band 2×2 배열 원형 마이크로스트립 패치 안테나는 제작 비용이 저렴한 프레스물 기법을 사용하여, 접지면과 4개의 방사패치에 동일한 전력을 공급하기 위해서 마이크로스트립 라인에 의해 설계되어진 전력분배기와 연결된 임피던스 변환기의 중심에 비아를 뚫어 직접

급전하는 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식으로 제작하였다. 또한 공기층에 의해 분리되어진 방사패치와 접지면을 연결하는 프로브 및 방사패치의 유동에 의한 안테나 파손을 막기 위해서 비유전체 봉을 사용하여 고정하였다. 제작된 실물 사진은 그림 4-1과 같다.

제작된 안테나를 Anritsu 37169A VNA (Vector Network Analyzer)를 사용한 측정 장치 배치 사진을 그림 4-2에서 보여주고 있으며 그림4-3~4-6은 측정결과를 보여주고 있다.

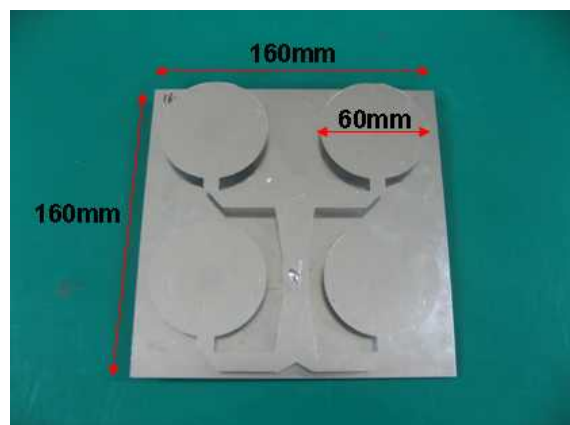


그림 4-1. 안테나 실물 사진
Fig 4-1. Photograph for the antenna fabricated.



그림 4-2. 측정 장치의 사진
Fig 4-2. Photograph of test equipments

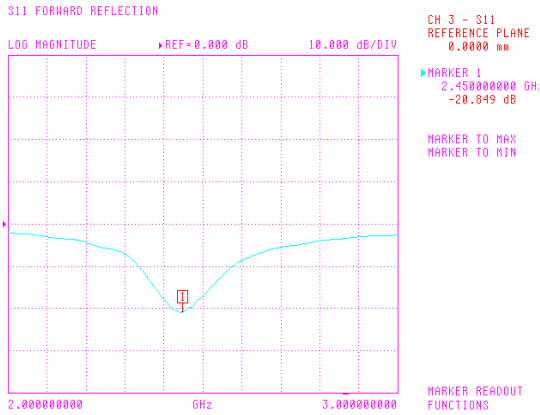


그림 4-3. 입력 반사손실
 Fig 4-3. Input Return-loss

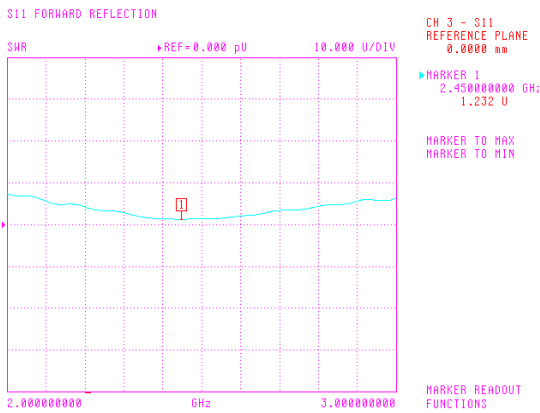


그림 4-4. 정재파비
 Fig 4-4. VSWR

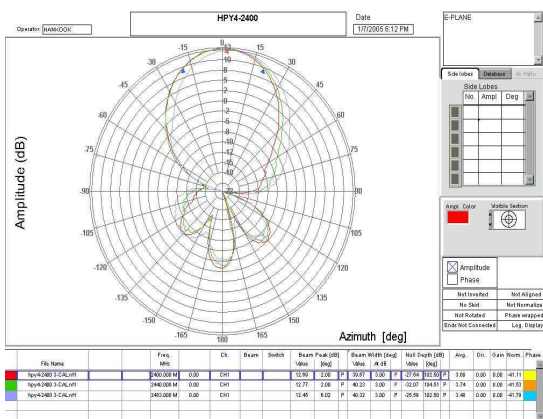


그림 4-5. E-평면 방사패턴
 Fig 4-5. Radiation pattern of E-plane

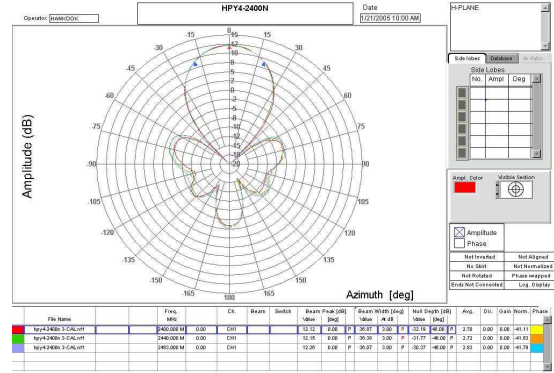


그림 4-6. H-평면 방사패턴
 Fig 4-6. Radiation pattern of H-plane

표 2에서 보여주는 것과 같이 안테나의 초기 설계 스펙에 대하여 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교하였다. 안테나를 제작하기 위해 초기의 설계 대역폭을 입력 반사손실 -10 [dB] 이하의 범위에서 2.400 ~ 2.483 [GHz], 안테나 이득은 12 [dBi], 그리고 3 dB 빔폭 30° 이상으로 설정하였으며, 시뮬레이션 결과 입력 반사손실 -10 [dB] 이하의 주파수 대역폭은 2.372 ~ 2.550 [GHz], 안테나 이득 12.6 [dBi], 그리고 3 dB 빔폭은 45° 이상이라는 특성을 확인하였다.

표 2. 측정결과 비교분석

Table 2. Comparative analysis of Measurement result

	Specification of Patch Antenna	Simulation Result	Measurement Result
Frequency Range	2.400 ~ 2.483 [GHz]	2.372 ~ 2.550 [GHz]	2.286 ~ 2.536 [GHz]
VSWR	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5
Radiation Pattern	Directional	Directional	Directional
Gain	≥ 12 dBi	≥ 12.6 dBi	≥ 12.7 dBi
Half Power Beam Width	≥ 30 deg.	≥ 45 deg.	≥ 40 deg.

측정결과에서 안테나 주파수 대역은 시뮬레이션 결과보다 약 70 [MHz] 정도 더 넓은 특성을 나타내었다. 이는 시뮬레이션 과정과는 다르게 방사패치와 접지면 사이의 프로브 길이가 정확히 연결되지 못해 발생된 것으로 예상된다. 또한 안테나의 이득 12 [dBi] 이상 그리고 3 dB 빔폭은 30° 이상으로 초기 설계스펙을 모두 만족함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 S 밴드 ISM용, 고이득 2×2 배열 원형 패치안테나를 설계 및 제작하였다.

안테나의 대역폭과 이득을 개선하기 위해서 원형 패치에 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식으로 급전시켰으며, 안테나를 2×2 배열 형태로 구현하였다. CST사의 MWS 5.0 시뮬레이션 프로그램에 의해 설계된 2×2 배열 원형 패치 안테나는 2.45 [GHz], VSWR 2:1인 범위에서 178 [MHz]의 대역 특성을 보였다. 안테나 이득은 12.6 [dBi] 그리고 3dB 빔폭은 약 45°라는 양호한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

최적으로 설계된 안테나는 공기층에 의해 분리되어진 방사체와 접지면을 연결하는 프로브 및 방사체의 유동에 의한 안테나 파손을 막기 위해서 비유전체 봉으로 고정하였으며, 방사체와 접지면은 0.5 [mm] 두께의 도체를 사용하여 제작비용이 저렴한 프레스물기법으로 제작하였다.

제작된 안테나는 Anritsu 37169A VNA (Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정한 결과 2.45 [GHz], VSWR 2:1인 범위에서 약 250 [MHz]라는 대역 특성을 나타내었다. 방사패턴을 측정한 결과 E-평면에서는 안테나 이득 12.7 [dBi], 3 dB 빔폭은 40°를 나타내었고, H-평면에서는 안테나 이득 12.1 [dBi], 3 dB 빔폭은 36°라는 특성을 나타내었다.

따라서 본 논문에서 사용한 설계 방식으로 제작된 안테나는 S-band 무선LAN 시스템의 AP(Access Point)용 안테나로써 동작하기에 충분한 대역폭과 이득을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] J. W. Howell, " Microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-23, No. 1, pp. 90-93, Janu 1975.

[2] A. Santamaria, F. J. Lopez-Hernandez "Wireless LAN System" *Artech House, Inc* 1993.

[3] K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 29, pp. 2-24, Jan. 1981.

[4] C. A. Balanis, " Antenna Theory : analysis and design", *Johh Wiley & Sons , Inc.*, 2nd Ed., 1997.

[5] R. E Munson, "Conformal Microstrip Antenna and Microstrip Phased Arrays,"*IEEE Trans. Antennas & Propagation*, Vol. AP-22, pp. 74-78, Jan. 1974.

[6] W. Kin-Lu, "Compact and Broadband Microstrip Antennas", *John Willey & Sons, Inc.* 2002.

[7] G. Kumar, K. P. Ray, "Broadband Microstrip Antennas", *Artech House, Inc*, 2003.

안 용 복(安龍福)

1999년 2월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학사



2002년 2월 : 국립 목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과 공학석사
2002년 3월 ~ 현재 : 목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과 공학박사 과정

2001년 3월 ~ 현재 : 목포문화방송국 기술국장

관심분야 : 방송 송수신용 안테나, 이동통신 및 위성통신

최 병 하 (崔炳夏)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 공학사

1981년 3월 ~ 1983년 2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1987 : 통신기술사

1988년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국 항공 대학교 대학원 전자공학과 공학 박사

1972년 ~ : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
관심분야 : 안테나, 해상 이동통신 및 위성통신