

# 십자형 패치를 이용한 ISM 대역용 이중대역 마이크로스트립 안테나 설계

박기동\*, °정문숙\*\*, 임영석\*\*

\*동강대학 정보통신과 \*\*전남대학교 전자공학과

keedong@dongkang.ac.kr\* pipi76@empal.com\*\* limys@chonnam.ac.kr\*\*

## Design of Dual-band Microstrip Antenna for ISM Bandwidth using Cross Patch

Ki-dong Park\*, °Mun-suk Jeong\*\*, Yeong-seog Lim\*\*

\* Dept. of Information & Communication, Dongkang College

\*\* Dept. of Electronic Engineering, Chonnam National University

### Abstract

Dual-band microstrip antenna is designed for industrial-scientific-medical(ISM) band of 2.4GHz and 5.8 GHz using finite-difference time-domain method(FDTD). Cross patch fed by aperture in the ground plane of microstrip line is proposed as radiation element of antenna, which is 2 rectangular patch is overlapped. To design antenna, change of input impedance by aperture and stub length change is examined. And it is investigated that center frequency and -10 dB bandwidth by length of radiation element and width change. Experimental result about reflection loss confirmed that agree well with analysis results of FDTD and IE3D. And -3 dB beam width, front to back ratio and gain in frequency 2.43GHz and 5.79GHz is presented by measuring radiation pattern of antenna.

### I. 서론

최근 고도화 정보 사회를 지원하는 정보통신 시스템 부문 중 무선통신망을 활용한 고속, 대용량 정보의 전송기술에 대한 필요성이 크게 대두되고 있는 추세이다. 이에 따라 무선통신 시스템에서 사용되는 주파수 대역 또한 점차 고주파의 활용이 가시화 되고 있다. 이 중 2.4GHz와 5GHz의 주파수 대역을 이용한 무선 네트워크 기반 기술에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 ISM 대역으로 일컬어지는 2.4 GHz 대역(2.4~2.483GHz)을 이용한 무선 네트워크 기술의 개발이 활발히 추진되어 왔으며, 점차 5.8GHz 대역(5.725~5.85GHz)을 이용하는 기술 개발 역시 가시화 되고 있는 상황이다.

현재 2.4GHz 대역을 이용하는 무선통신 기술은 무선 랜(Wireless LAN), 블루투스(Bluetooth), 지능형 교통 시스템(ITS)의 서브 시스템 분야인 주차관리 시

스템, 자동요금징수 시스템(ETCS) 등에 적용되어 상용화에 이르고 있으며, 5.8GHz 대역에서 차세대 ITS 서비스를 위한 단거리 전용 통신망(DSRC)이 구축될 것으로 기대되고 차세대 무선 랜 또한 이 주파수 부근 대역을 사용할 것으로 예상된다. 따라서 ISM 대역을 이용한 무선통신망이 차세대 정보통신망의 공간을 이룰 것이 확실시되고 있다.

이와 같은 상황 속에서 무선통신망의 구축을 위해 가장 기본적이고 핵심적인 요소 중 하나는 신호를 송수신 할 수 있는 고성능 안테나의 개발일 것이다.

따라서 본 논문에서는 2.4GHz와 5.8GHz의 이중대역에서 사용 가능한 마이크로스트립 안테나를 시간영역 유한차분(FDTD)법<sup>[1,2]</sup>을 적용하여 설계하였다. 안테나의 방사 소자는 십자형 패치를 제안하였고 급전 방식은 개구(Aperture) 결합을 이용하였다<sup>[3,4]</sup>. 개구와 스테르브 길이 변화에 따른 입력 임피던스의 변화를 살펴보고, 방사 소자의 다양한 길이와 폭에 따른

중심 주파수와 -10dB 대역폭 변화에 대한 해석 결과를 제시하였다. 이 결과로부터 2.4GHz와 5.8GHz의 ISM 대역을 위한 안테나에서 요구되는 사양을 충족시키는 경우에 대해 상용 툴인 IE3D를 통해 검증하고 안테나를 제작하여 측정함으로써 확인하였다.

## II. 안테나 설계

FDTD를 적용하여 2.4GHz와 5.8GHz의 이중대역에서 사용 가능한 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. FDTD는 광범위하게 전자기 해석에 이용되어 왔으며 초기에는 등방성(isotropic), 비산란물질(non-dispersive)에만 적용되다가 차츰 이방성(anisotropic), 산란물질(dispersive)까지 적용되었고, 최근에는 자화된 페라이트나 플라즈마 같은 복잡한 매질까지 확장되었다<sup>[5,6]</sup>. 그리고 한 번의 계산을 통해 관심을 두는 주파수 대역의 정보를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 반면에 계산 메모리를 많이 차지하는 단점이 있다. 따라서 계산 메모리 양을 줄이기 위해 성능이 우수한 흡수경계조건(Absorbing Boundary Condition)을 적용할 필요가 있다. 최근에 Berenger가 PML(Perfectly Matched Layer)을 처음 제안한 후 많은 연구가 이루어졌는데<sup>[7]</sup>, 본 논문에서는 기존의 PML보다 몇 가지 장점을 가지고 있는 GT-PML을 적용시켰다<sup>[8]</sup>.

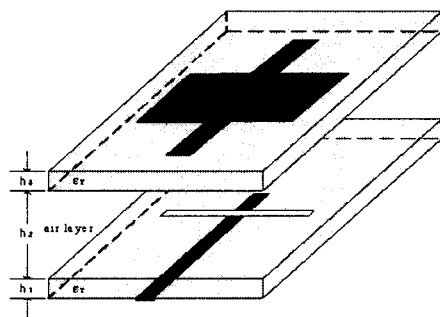
그림 1은 본 논문에서 설계한 안테나의 구조를 나타낸다. 안테나의 방사소자로 2개의 구형 패치가 겹쳐진 십자형 패치를 제안하였고, 급전은 마이크로스트립 선로에 의한 개구 결합 방식을 사용하였다. 그리고 마이크로스트립 안테나의 단점인 좁은 대역폭의 문제점을 개선하고 ISM 대역에서 요구되어지는 대역폭을 얻기 위해 급전 선로와 방사 소자의 유전체 층 사이에 공기 층을 두었다.

FDTD로 해석할 때, 단위 격자의 크기  $\Delta x=0.36\text{mm}$ ,  $\Delta y=0.4\text{mm}$ ,  $\Delta z=0.261\text{mm}$ 로 하였으며 PML내의 단위 격자 수는 모든 방향에서 10개를 두었고 PML영역을 포함한 전체 계산 영역은  $120 \times 180 \times 65$  격자로 분할하였다. 그리고 시간 스텝은 Courant 안정조건<sup>[9]</sup>에 의해  $\Delta t=0.4\text{ps}$ 로 하였고 총 반복 시간 스텝 수  $n=50000$ 으로 계산하여 안정화된 시간영역 파형을 얻었으며, 이 시간영역 파형을 이산 푸리에 변환(DFT)함으로써 필요한 주파수영역 정보를 추출하였다.

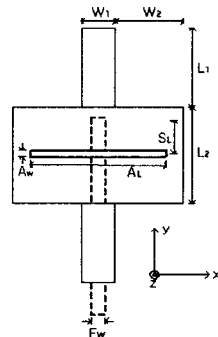
안테나 설계 및 제작에서 사용된 기판은  $h_1=h_3=0.78\text{mm}$ ,  $\epsilon_r=2.6$ 인 테프론 기판을 사용하였으며 삽입된 공기 층의 높이  $h_2=5\text{mm}$ 로 하였다.

안테나의 설계는 다음과 같이 이루어졌다. 먼저 설계 주파수를 각각  $f_1=2.44\text{GHz}$ ,  $f_2=5.77\text{GHz}$ 로 선택하였고, 이 주파수에 의해 십자형 패치에서  $2L_1+L_2=56.4$

$\text{mm} \approx \lambda_1/2$ ,  $L_2=23.6\text{mm} \approx \lambda_2/2$ 인 길이  $L_1$ 과  $L_2$ 를 결정하였다. 그리고 마이크로스트립 선로의 폭  $F_w=2.16\text{mm}$ 로 하여  $50\Omega$ 의 급전 선로가 되도록 하였고 스테브 길이  $S_L=8\text{mm} \approx 0.22\lambda$ 로 정하였다. 여기서  $\lambda$ 는  $50\Omega$  마이크로스트립 선로에 대한 주파수  $f=5.77\text{GHz}$ 에서의 파장이다. 나머지 파라미터  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $A_w$  및  $A_L$ 은 임의의 값을 가정하였다.



(a) 입체도



(b) 투사도

그림 1. 안테나 구조

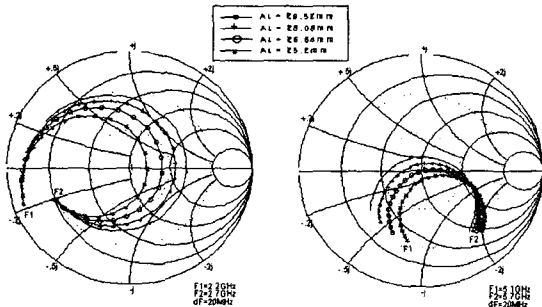
그림 2는 개구 길이  $A_L$ 에 따른 입력 임피던스의 변화를 스미스 도표에서 살펴본 것이다. 입력 임피던스의 계산을 위한 기준면의 위치는 개구의 중심으로 부터  $-y$ 방향으로  $10 \Delta y=4\text{mm}$  떨어진 지점으로 가급적 방사 소자의 급전점인 개구 중심에 근접하도록 설정하였다.

개구 길이가 작아지면 2.4GHz 대역에서는 궤적이 점진적으로 스미스 도표의 원점 쪽으로 이동하고 5GHz 대역에서는 모든 궤적이 원점 부근에서 나타난다. 그리고 개구 길이의 변화가 2.4GHz 대역에서의 임피던스 정합에는 크게 영향을 미치지만 5GHz 대역에서는 그렇지 않다는 것을 확인할 수 있다.

그림 2의 입력 임피던스의 궤적을 살펴보면 개구 길이  $A_L=25.2\text{mm}$ 일 때 임피던스 정합이 잘 이루어진 것을 알 수 있다. 그러나 이 경우 2.4GHz 대역에서 입력 임피던스의 허수 부분이 '0'일 때의 주파수를 살

해보면 2.52GHz로 설계 주파수와는 차이가 있다. 또한 5GHz 대역에서의 모든 입력 임피던스 궤적도 설계 주파수에 크게 어긋난다.

따라서 본 논문에서는 정합 특성과 2.4GHz 대역에서 입력 임피던스의 허수 부분이 '0'일 때의 주파수를 고려하여 개구 길이  $A_L=28.08\text{mm}$ 을 선택하였다.

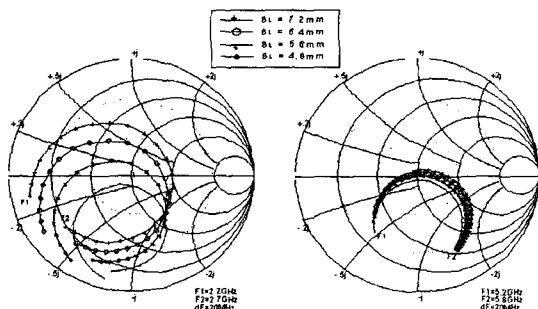


(a) 2.4GHz 대역 (b) 5GHz 대역

그림 2. 개구 길이  $A_L$ 에 따른 입력 임피던스 변화 ( $S_L=8\text{mm}$ ,  $A_w=0.8\text{mm}$ ,  $L_1=16.4\text{mm}$ ,  $L_2=23.6\text{mm}$ ,  $W_1=3.6\text{mm}$ ,  $W_2=12.96\text{mm}$ )

그림 3은 스테브 길이  $S_L$ 에 따른 입력 임피던스의 변화를 살펴본 것이다. 스테브 길이 변화 역시 2.4GHz 대역에서의 임피던스 정합 특성에는 큰 영향을 주지만 5GHz 대역에서는 적은 영향을 준다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 5GHz 대역에서의 모든 입력 임피던스 궤적은 개구 길이 변화의 경우처럼 설계 주파수에서 크게 벗어나 그려진다. 이러한 사실은 설계 주파수에서 임피던스 정합을 이루기 위해서는 방사 소자의 파라미터를 변화시킬 필요가 있음을 의미한다.

그러나 개구 길이 변화의 경우와 달리 2.4GHz 대역에서 입력 임피던스의 허수 부분이 '0'일 때의 주파수 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 결국 입력 임피던스 궤적을 살펴보면 스테브 길이  $S_L=5.6\text{mm}$ 일 때 정합이 잘 이루어지므로 이 값을 안테나 설계에 사용하였다.



(a) 2.4GHz 대역 (b) 5GHz 대역

그림 3. 스테브 길이  $S_L$ 에 따른 입력 임피던스 변화 ( $A_L=28.08\text{mm}$ , 다른 파라미터는 그림 2와 동일)

그림 4는 십자형 패치에서 길이  $L_2$ 에 따른 중심 주파수와 -10dB 대역폭의 변화를 나타낸다.  $L_2$ 가 증가함에 따라 2.4/5GHz 대역에서의 중심 주파수는 낮아지는데 그 변화 정도가 5GHz 대역에서 훨씬 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 파장에 대한  $L_2$ 의 변화 길이 비를 고려하면 설명될 수 있다. 즉  $L_2$ 를 변화시킬 경우, 5GHz 대역의 파장에 대한 길이  $L_2$  변화의 정도가 상대적으로 2.4GHz 대역의 파장에 대한 길이  $2L_1+L_2$ 의 변화 정도보다 더 크기 때문이다.

그림 5는 십자형 패치에서 폭  $W_1$ 에 따른 중심 주파수와 -10dB 대역폭의 변화를 나타낸다.  $W_1$ 이 증가하면 2.4GHz 대역의 중심 주파수는 낮아지고 5GHz 대역의 중심 주파수는 약간 높아지는 것을 알 수 있다. 결국  $W_1$ 의 변화는  $L_2$ 의 변화에 비해 중심 주파수를 큰 편차로 이동시키지는 않지만 중심 주파수를 미세 조정하는데 유용하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고  $W_1$ 이 증가함에 따라 -10dB 대역폭은 2.4GHz와 5GHz 대역에서 좁아지며  $L_2$  변화의 경우보다 대역폭의 변화 정도가 크다는 것을 알 수 있다.

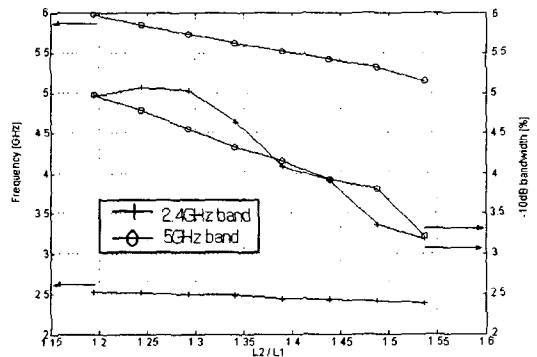


그림 4. 길이  $L_2$ 에 따른 중심주파수와 -10dB 대역폭 변화 ( $S_L=5.6\text{mm}$ ,  $A_L=28.08\text{mm}$ ,  $A_w=0.8\text{mm}$ ,  $L_1=16.4\text{mm}$ ,  $W_1=3.6\text{mm}$ ,  $W_2=12.96\text{mm}$ )

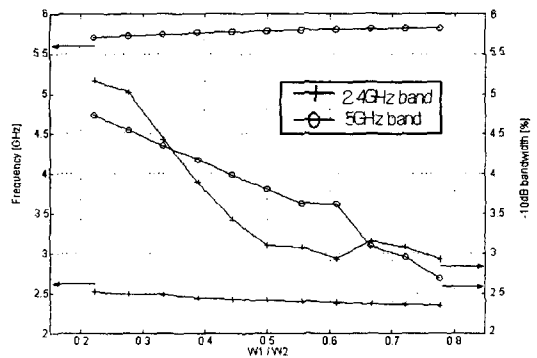


그림 5. 폭  $W_1$ 에 따른 중심주파수와 -10dB 대역폭 변화 ( $L_2=21.2\text{mm}$ , 다른 파라미터는 그림 4와 동일)

따라서 그림 4와 5의 결과로부터 십자형 패치의 길이와 폭을 조절함으로써 2.4GHz와 5GHz 대역에서 원하는 중심 주파수를 갖는 이중대역 마이크로스트립 안테나의 설계가 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

### III. 안테나 제작 및 결과 검토

앞 장에서 ISM 대역용 이중대역 마이크로스트립 안테나를 설계하기 위해 다양한 파라미터에 대한 해석 결과를 제시하였다. 그리고 이 결과로부터 중심 주파수와 -10dB 대역폭이 2.4GHz와 5.8GHz의 ISM 대역에서 요구되는 사양을 만족시키는 경우의 설계 파라미터를 찾아 표 1에 나타내었다.

표 1. 안테나의 설계 파라미터(단위:mm)

파라미터	S <sub>L</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>w</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>
값	5.6	28.08	0.8	16.4	21.2	5.04	12.96

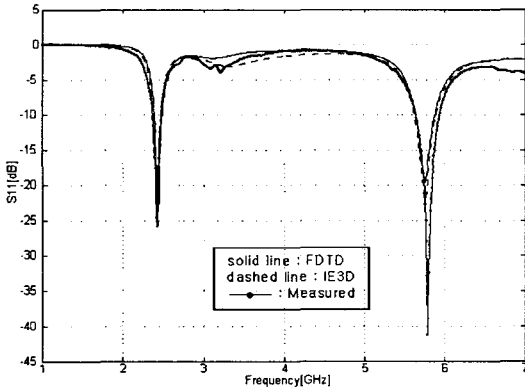


그림 6. 반사손실(S<sub>11</sub>)의 비교

그림 6은 표 1의 파라미터를 이용하여 제작된 안테나에 대해 반사손실(S<sub>11</sub>)을 측정하고 그 결과를 FDTD와 IE3D의 해석 결과와 함께 비교하여 제시한 것이다. 반사손실의 측정은 벡터 네트워크 분석기인 Anritsu-37325A를 사용하였다. 중심 주파수와 -10dB 대역폭을 비교하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 중심 주파수와 -10dB 대역폭 비교

방법		FDTD	IE3D	Measured
2.4GHz	중심주파수[GHz]	2.44	2.433	2.425
	-10dB 대역폭[GHz,%]	2.393~2.488(3.89)	2.388~2.478(3.70)	2.3725~2.485(4.64)
5.8GHz	중심주파수[GHz]	5.76	5.755	5.785
	-10dB 대역폭[GHz,%]	5.64~5.88(4.17)	5.628~5.89(4.55)	5.6425~5.935(5.06)

표 2의 결과를 살펴보면 FDTD, IE3D 및 측정 결과가 잘 일치함을 확인할 수 있고 2.4GHz와 5.8GHz의 ISM 대역에서 요구되는 대역폭을 만족시킨다는 것을 알 수 있다. 그리고 입력 임피던스를 측정된 결과 중심 주파수 2.425GHz와 5.785GHz에서 각각 47.849-j3.598[Ω], 50.568+j0.627[Ω]으로 임피던스 정합이 잘 이루어졌다.

안테나의 방사패턴을 주파수 2.43GHz와 5.79GHz에서 측정하여 그림 7에 나타내었다. 방사패턴은 SATIMO사의 근거리장 STARGATE-32 시스템으로 측정되었다. E-plane과 H-plane의 -3dB 빔폭은 2.43GHz에서 각각 88.57°, 122.86°이고 5.79GHz에서 각각 131.43°, 71.43°로 측정되었다. 전후방비는 2.43GHz에서 10.12dB이고 5.79GHz에서 7.27dB로 나타났다. 그리고 안테나의 이득은 2.43GHz와 5.79GHz에서 각각 4.95dB, 6.15dB이고, 2.4GHz 대역폭 내에서 4.34~4.97dB, 5.8GHz 대역폭 내에서 3.55~6.16dB의 특성을 보였다.

### IV. 결론

본 논문에서는 2.4GHz와 5.8GHz의 ISM 대역을 위한 이중대역 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. 안테나의 방사소자로 2개의 구형 패치가 겹쳐진 십자형 패치를 제안하였고 급전 방식은 개구(Aperture) 결합을 이용하였다.

안테나 설계를 위해 FDTD를 적용하여 개구와 스텐드 길이 변화에 따른 입력 임피던스의 변화를 살펴보고, 방사 소자의 길이와 폭 변화에 따른 중심 주파수와 -10dB 대역폭을 고찰하였다. 그리고 2.4GHz와 5.8GHz의 ISM 대역에서 요구되는 사양을 만족시키는 경우의 설계 파라미터를 찾아 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나의 반사손실을 측정하고 그 결과를 FDTD와 IE3D의 해석 결과와 함께 비교하여 잘 일치함을 확인하였다. 그리고 안테나의 방사패턴을 측정하여 2.4GHz 대역폭 내에서 4.34~4.97dB, 5.8GHz 대역폭 내에서 3.55~6.16dB의 이득을 얻었다.

제안된 안테나 구조는 2.4GHz와 5GHz 대역용 이중대역 마이크로스트립 안테나의 설계에 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

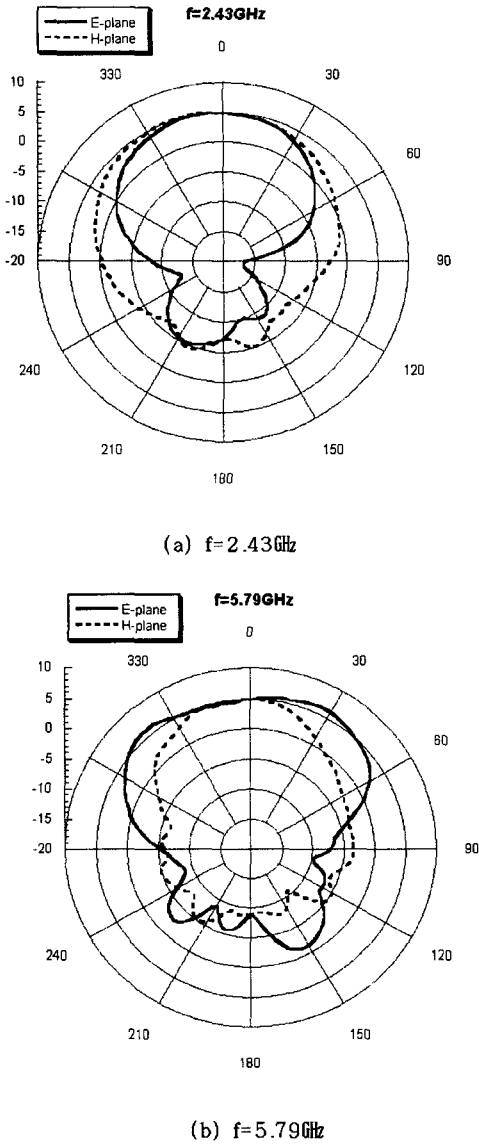


그림 8. 방사패턴의 측정 결과

특히, 무선 랜 서비스의 액세스 포인트용 안테나로 사용될 수 있을 것으로 생각한다. 앞으로 안테나의 크기를 소형화시키기 위한 연구가 이루어진다면 충분히 무선 랜 카드에도 장착 가능할 것이다.

### 참고문헌

[1] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 14, pp.302-307, May

1966.

- [2] X. Zhang and K. K. Mei, "Time-domain finite difference approach to the calculation of the frequency-dependent characteristics of microstrip discontinuities," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 36, pp. 1775-1787, Dec. 1988.
- [3] P. L. Sullivan and D. h. Schaubert, "Analysis of an Aperture coupled microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 34, pp.977-984, Aug. 1986.
- [4] A. Ittipiboon, Y. M. M. Antar, and M. Cuhaci, "A modal expansion method of analysis and measurement on aperture-coupled microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, pp.1567-1574, Nov. 1991.
- [5] J. A. Pereda, L. A. Vielva, A. Vega, and A. Prieto, "FDTD analysis of magnetized ferrites: application to the calculation of dispersion characteristics of ferrite-loaded waveguides," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 43, pp. 350-357, Feb. 1995.
- [6] 박기동, 임영석, "YIG박막-GGG층 구조를 갖는 마이크로스트립 선로의 전파특성 해석," *한국전자파학회*, vol. 11, pp.1168-1175, Oct. 2000.
- [7] D. T. Prescott and N. V. Shuley, "Reflection analysis of FDTD boundary conditions-Part II: Berenger's PML absorbing layers," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 45, pp. 1171-1178, Aug. 1997.
- [8] L. Zhao and A. C. Cangellaris, "GT-PML: generalized theory of perfectly matched layer and its application to the reflectionless truncation of finite-difference time-domain grids," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 2555-2563, Dec. 1996.
- [9] A. Taflov and M. E. Brodwin, "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 23, pp. 623-630, Aug. 1975.

"이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음" (KRF-2001-003-E00180)