

일반논문-11-16-3-09

안정된 복사패턴과 광대역 특성을 갖는 MIMO/LAN/방송용 안테나 설계 및 개발

장용웅^{a)‡}

Design and Development of Antenna with Stabilization of Radiation Pattern and Wide-Band Characteristics for MIMO/LAN/Broadcast Operations

Yong-Woong Jang^{a)‡}

요약

본 논문에서는 광대역, 양호한 복사패턴, 그리고 고이득 특성을 갖는 새로운 안테나를 제안하였다. FDTD(Finite Difference Time Domain) 법을 이용하여 본 안테나를 해석하였으며, 안테나의 파라미터는 최대대역폭을 갖도록 최적화 설계하였다. 측정된 결과, 안테나의 대역폭은 0.839 옥타브($S_{11} \leq -10$ dB). 그리고 제안된 안테나의 측정된 교차편파 복사패턴은 -25dB 이하의 우수한 특성을 보였다. 안테나의 측정된 반사손실과 복사패턴 특성도 나타내었으며, 측정된 대역폭 특성은 FDTD 결과와 비교적 잘 일치하였다. 제안된 안테나는 MIMO, LAN, 의료기기, 그리고 방송용 시스템에 적용할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a new antenna, which has wide bandwidth, good radiation patterns, and high-gain characteristics. We analysis the antenna using FDTD(Finite Difference Time Domain) method. And the antenna parameters are optimized to get maximum bandwidth. From the measured results, the bandwidth of the antenna is 0.839 octave, for the $S_{11} \leq -10$ dB. And the measured cross polarization level of the proposed antenna is less than -25 dB at the center frequency. Experimental data of the return loss and the radiation pattern of the proposed antenna are also presented, and the experimental bandwidth characteristics are relatively in good agreement with the FDTD results. The proposed antenna can be applied to MIMO, LAN, biomedical instruments, broadcasting-network system.

Keyword : Wideband, High-Gain, Antenna

1. 서론

방송기술이나 이동통신에서 안테나는 중요한 영역을 차지하고 있다. 이 영역에서 안테나는 광대역, 안정된 복사

패턴, 그리고 고 이득 특성을 요구하는 경우가 많다.

전자기-결합 마이크로스트립 안테나의 급전선로에 짧은 동조 스테브를 연결하면 10~15 %정도의 대역폭 특성을 가진다.

지금까지 개구-결합 마이크로스트립 안테나는 1985년 Pozar에 의해 제안된 이후 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 급전시키는 일반적인 방법^{[3][4]}은 마이크로 스트립 급전 선로를 슬롯 중심에 수직하게 가로지르게 하

a) 극동정보대학 보건의료공학과

Dept. of Biomedical Eng., Keuckdong College

‡ 교신저자 : 장용웅(ywjang@kdc.ac.kr)

* 본 연구는 극동정보대학 2010학년도 교내연구비로 지원받아 게재함.

· 접수일(2011년3월8일), 수정일(2011년3월31일), 게재확정일(2011년4월1일)

는 급전 방식이나 정합을 좀 더 용이하게 급전하기 위해 슬롯 중심에서 슬롯의 양 끝단 쪽으로 오프셋(offset)시키는 방법이였다. 그러나 이런 두 경우에는 비교적 슬롯 폭이 좁은 경우에 한하여 협대역에 걸쳐 좋은 정합을 이룰 수 있지만, 슬롯 폭이 커지면 이러한 급전점을 오프셋시키는 것으로는 정합이 어려울 뿐만 아니라, 광대역성이 어려웠다. 그러므로 광대역 특성을 갖는 슬롯 안테나가 연구되었으나^[6], 복사패턴이나, 이득 특성을 개선해야 하는 문제점을 갖게 되었다.

본 논문에서는 광대역성은 물론, 양호한 복사패턴과 고이득 특성을 갖는 새로운 안테나를 제안하였다. 또한 FDTD 법을 적용하여 안테나의 특성을 해석하여 파의 전파 과정, 전계의 분포를 시간영역에서 각각 계산하였고, FDTD 법을 사용하여 얻은 값들을 Fourier 변환하여 최적화된 슬롯 안테나의 주파수 영역에서의 파라메타들을 각각 계산하였다. 그리고 최적화된 값으로부터 안테나를 제작 및 측정하여 안테나의 대역폭 특성과 비교하였다.

II. FDTD 해석 이론

시간축상의 이산간격은 각 계산 스텝과의 오차를 추적하지 않기 위해, 위의 차분 방정식이 안정적으로 동작할 수 있는 시분할 간격의 안정조건은^[7]

$$\Delta t \leq \frac{1}{v_{\max}} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, v_{\max} 는 해석 대상영역 내에서 최대 전자파의 속도이다.

마이크로스트립 안테나와 같은 구조는 전계, 자계 성분을 무한 경계영역까지 계산해야 하는 개방구조이다. 이와 같은 개방 구조에 대한 FDTD 해석은 컴퓨터 처리속도와 기억용량의 한정 때문에 해석 대상영역을 제한하고, 제한영역에 구조와 동일하도록 흡수경계조건을 부여한 계산영역의 경계면에서, 전자파의 반사가 일어나지 않도록 한다^[7]. 마이크로스트립 안테나 구조의 해석에서 Mur의 흡수경계조건을

적용한다^[7].

시간영역 유한차분법으로 계산된 시간영역에서 계산값은 Fourier 변환에 의해 주파수 영역의 응답을 구할 수 있다. 마이크로스트립 안테나의 산란 계수는 마이크로스트립 급전선로가 개방종단으로 되어 있으므로 1 port 회로가 되며, 이때 반사 계수 S_{11} 은

$$S_{11} = \frac{\mathcal{F}[V^{(t)}]}{\mathcal{F}[V^{(i)}]} \quad (2)$$

이다. 여기서 $V_{ref}(t)$ 는 기준점에서 반사전압을 나타내며, $V_{inc}(t)$ 는 기준점에서 입사전압을 나타낸다. \mathcal{F} 는 Fourier 변환을 나타낸다.

계산된 반사계수로부터 전압 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)는 다음과 같이 구해진다.

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |S_{11}(\omega)|}{1 - |S_{11}(\omega)|} \quad (3)$$

III. 안테나의 해석 및 최적화 설계

1. 안테나 구조 및 FDTD 적용

그림 1에서 l_p 는 패치의 길이, w_p 는 패치의 폭, w_s 는 슬롯의 폭, l_s 는 슬롯의 길이, H_l 은 H-슬롯의 x-방향의 길이, H_w 는 슬롯의 y-방향의 폭, l_d 는 수평부 급전선의 길이, w_d 는 T-모양 급전선의 폭, $offset$ 은 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격, w_f 는 급전선의 폭이며, 이 안테나를 FDTD 방법으로 3차원 공간에서 해석하였다. 첫 번째는 상위층이며(Foam 층), 해석에 사용한 두번째 기판의 유전율(ϵ_r1)은 RT/Duroid 5880 기판이며, 세번째는 Foam 층이며, 네번째층은 RT/Duroid 6006 기판을 대상으로 시뮬레이션 하였다. 또한 FDTD 방법으로 해석하기 위해서는 대상영역의 안테나를 충분히 감싸도록 설정하고, 해석 대상 영역의 입력 여기면, 도체의 경계면, 흡수 경계조건을 직접 적용하여 구할 수 있다. 또한 정확히 해석하기 위해

서 기판의 유전체 두께(h)를 3개 마디(3Δz)로 분할하고, 급전선로 및 안테나의 파라미터를 Δx, Δy 방향으로 각각

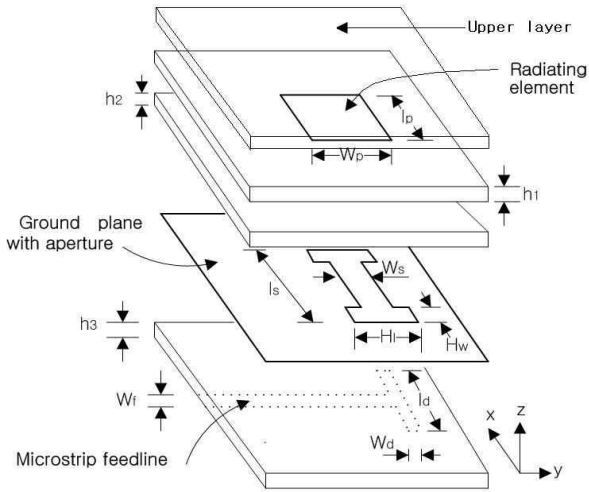


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1 The proposed antenna structure

정수 배로 분할한다. 여기서 사용한 공간분할 간격은 Δx=0.385 mm, Δy=0.43 mm, Δz=0.27 mm이고, 전체 해석공간은 x, y, z 방향으로 각각 234×210×250 개의 격자로 구성하였다. 본 안테나의 경우, 패치의 길이(lp)는 91Δx이고, 패치의 폭(Wp)은 63Δy로 설정하였다. 그리고 슬롯의 길이(ls)는 104Δx이고, 슬롯의 폭(Ws)은 37Δy이며, 수

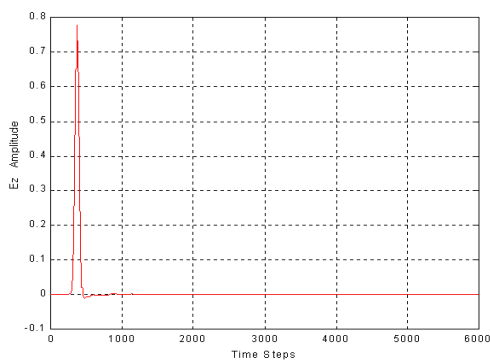
평부 급전선의 길이(ld)는 78Δx이며, 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset)은 7Δy이며, 그리고 급전선의 폭(Wf)은 5Δx로 설정하여 슬롯 안테나를 FDTD 방법으로 3차원 공간에서 해석하였다. 그림 2는 크기가 1인 Gaussian 펄스를 인가할 때, 96Δy 떨어진 지점에서 관측할 때, 입사파형과 반사펄스 파형을 FDTD 방법으로 시간영역에서 계산한 것이다.

그림 1의 구조를 갖는 안테나에서 패치의 길이(lp), 패치의 폭(Wp), 슬롯의 폭(Ws), 슬롯의 길이(ls), 슬롯의 x-방향의 길이(HI), 슬롯의 y-방향의 폭(Hw), 수평부 급전선의 길이(ld), T-모양 급전선의 폭(Wd), 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset), 급전선의 폭(Wf)등의 변화에 따라 안테나의 특성이 변하게 된다.

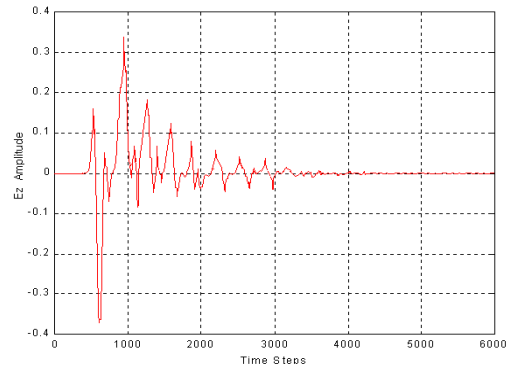
2. 설계변수에 따른 전압 정재파비와 최적화 설계

그림 1의 구조를 갖는 안테나에서 패치의 길이(lp), 패치의 폭(Wp), 슬롯의 폭(Ws), 슬롯의 길이(ls), 슬롯의 x-방향의 길이(HI), H-슬롯의 y-방향의 폭(Hw), 수평부 급전선의 길이(ld), T-모양 급전선의 폭(Wd), 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset), 급전선의 폭(Wf)등의 변화에 따라 안테나의 특성이 변하게 된다.

첫째는 HI 변화에 따른 전압 정재파비를 계산하기 위해서 HI를 제외한 다른 파라미터를 기본 값으로 고정시키고,

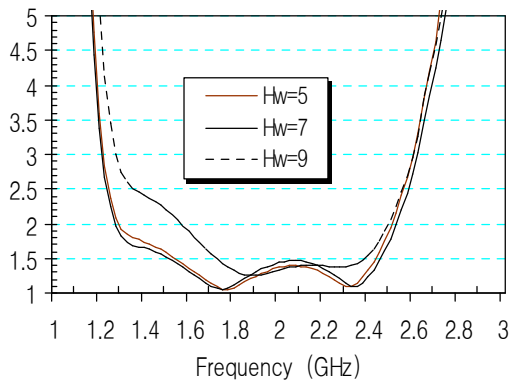


(a) 입사파형
(a) Input waveform



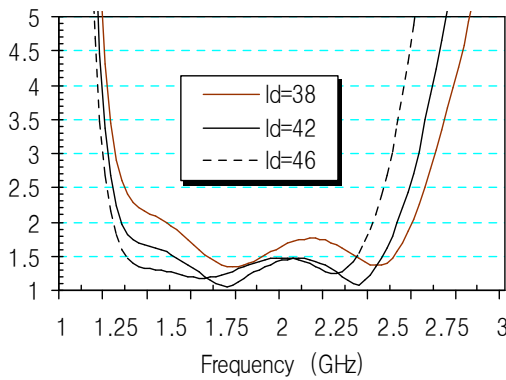
(b) 반사파형
(b) Reflected waveform

그림 2. 급전선로의 관측점에 대한 파형
Fig. 2 Waveform at an observation point of the feed line



$l_p=46$ mm, $W_p=27$ mm, $l_s=44$ mm, $W_s=20$ mm, $H_l=20$ mm, $l_d=42$ mm, $W_d=2$ mm, $W_f = 1.94$ mm

그림 3. 슬롯의 폭(Hw) 변화에 따른 전압 정재파비
Fig. 3. Computed VSWR as a function of H-slot width



$l_p=46$ mm, $W_p=27$ mm, $l_s=44$ mm, $W_s=20$ mm, $H_l=20$ mm, $H_w=7$ mm, $W_d=2$ mm, $W_f = 1.94$ mm

그림 4. T-모양 급전선의 길이 변화에 따른 계산된 전압 정재파비
Fig. 4. Computed VSWR as a function of length of T-shaped feed line

FDTD 최소격자($\Delta x=0.385$ mm)에 5배를 곱한 $5\Delta x$ 만큼씩 H_l 을 변화시켜 전압 정재파비를 계산하였다. 전압 정재파비의 계산은 FDTD의 결과를 Fourier 변환하여 구할 수 있으며, 패치의 길이를 5 mm, 7 mm, 9 mm 크기로 변화시켜서 전압 정재파비를 계산한 결과는 그림 3과 같다. 둘째는 T-모양 급전선의 길이(l_d) 변화에 따른 전압 정재파비를 계산하기 위해서 T-모양 급전선의 길이를 제외한 다른 파라메타를 기본 값으로 고정시키고, T-모양 급전점의 길이를 38 mm, 42 mm, 46 mm 크기로 변화시켜서 전압 정재파

비를 계산하였으며, 그 계산결과는 그림 4와 같다.

최적화된 파라메타 값을 계산한 결과, $l_p=46$ mm, $W_p=27$ mm, $l_s = 44$ mm, $W_s=20$ mm, $H_l=20$ mm, $H_w=7$ mm $l_d=42$ mm, $offset=2$ mm, $W_f = 1.94$ mm로 최적화하였다. 그 결과, 2중 공진이 발생하였으며, 정재파비 2 이하에서 사용 가능한 주파수 영역은 1.23 GHz(1.3 GHz ~ 2.53 GHz) 정도이고, 중심 주파수 1.73 GHz에서 % 대역폭은 약 71.1 %의 광대역 특성을 얻었다.

IV. 측정 및 분석

제안된 안테나의 FDTD 계산 결과, 시간에 따른 전압 파형의 결과를 Fourier 변환하여 주파수 상에서 반사손실 값(S11)은 식 (2)를 이용하여 계산한 것과 측정치를 그림 5에 나타내었다. 실험치는 계산치와 약간의 오차를 보였는데 이것은 제작상에서 발생된 것으로 사료된다.

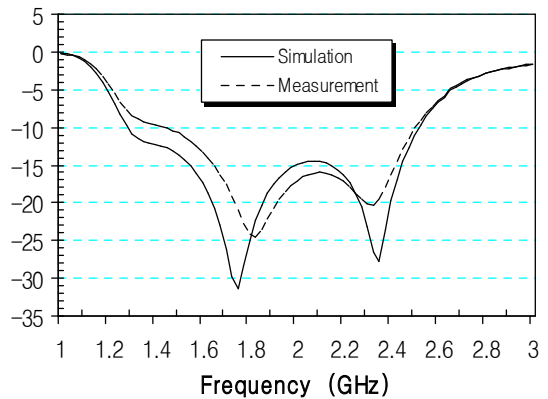


그림 5. 반사손실 값
Fig. 5. Return loss

그림 6은 주파수 2.0GHz에서 안테나의 동일편파 E-평면 패턴 측정값을 나타낸 것으로 0° 를 향해 단일 지향성 특성을 보였다. 그림 7은 주파수 2.0GHz에서 안테나의 교차편파 E-평면 복사패턴 측정값을 나타낸 것으로, -25 dB 이하의 양호하고 안정된 복사패턴 특성을 보였다. 그리고 이득은 중심 주파수에서 약 3 dB 정도 얻었다.

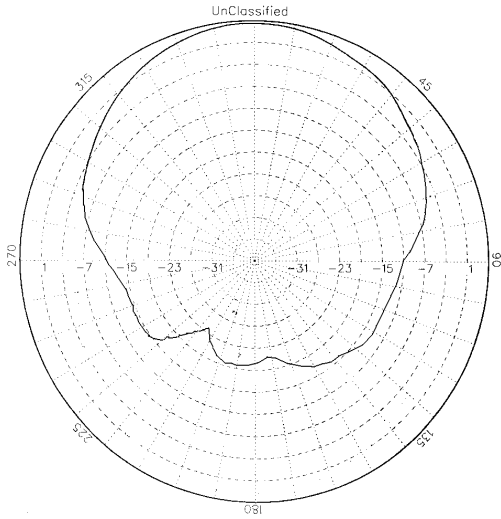


그림 6. 측정된 E-면 동일편파 복사패턴
Fig. 6. Measured E-plane co-polarization radiation pattern

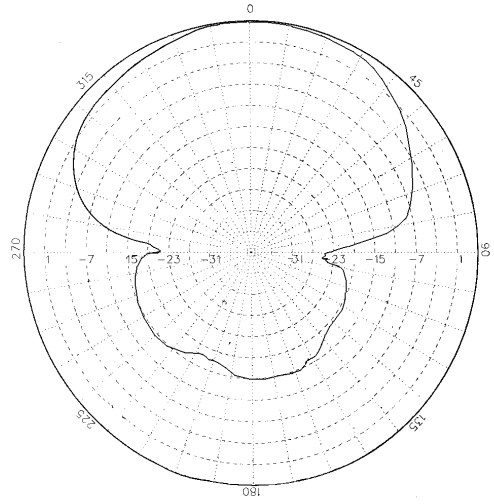


그림 8. 측정된 H-면 동일편파 복사패턴
Fig. 8. Measured H-plane co-polarization radiation pattern

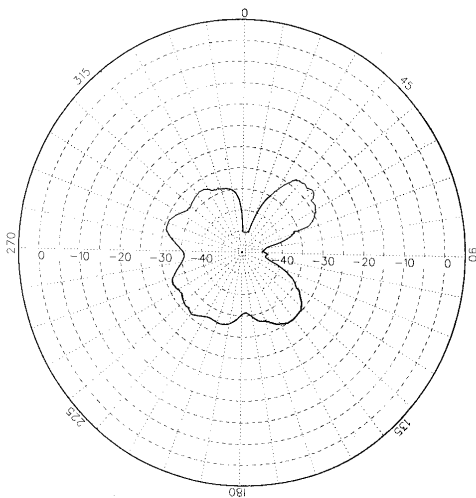


그림 7. 측정된 E-면 교차편파 복사패턴
Fig. 7. Measured E-plane cross-polarization radiation pattern

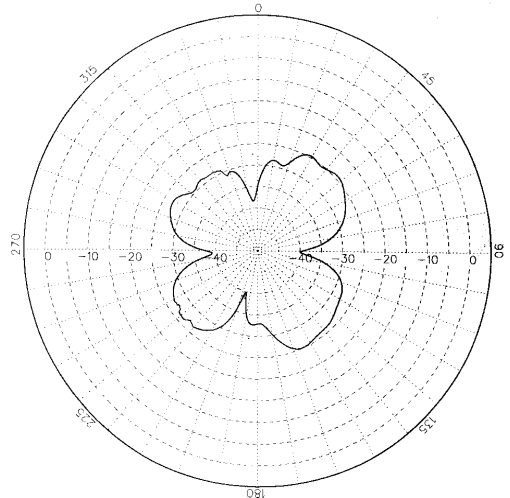


그림 9. 측정된 H-면 교차편파 복사패턴
Fig. 9. Measured H-plane cross-polarization radiation pattern

그림 8은 주파수 2.0GHz에서 안테나의 동일편파 H-평면 복사패턴 측정값을 나타낸 것으로 패치안테나와 유사한 단일 지향성 특성을 보였다. 그림 9는 주파수 2.0GHz에서 안테나의 교차편파 H-평면 패턴 측정값을 나타낸 것으로, -24 dB 이하의 우수한 복사패턴 특성을 보였다.

그림 10은 제안된 안테나의 이득을 측정한 것이며, 사용 가능한 주파수 대역 내에서는 안테나의 최대 이득은 약 5.5dBi 정도의 고 이득 특성을 보였으며, 사용할 수 있는 주파수 대역을 벗어나면 임피던스 정합이 안 되어 안테나 이득은 급격히 떨어지는 특성을 나타내고 있다.

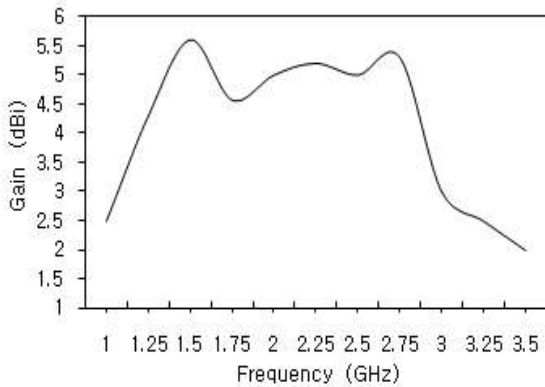


그림 10. 측정된 안테나 이득
Fig. 10. Measured antenna gain

본 안테나는 사용 가능한 주파수 대역폭이 광대역이므로, 다중-입력과 다중-출력이 가능할 것으로 사료되며, 안테나의 이득은 최대 5dBi 이상의 고 이득 특성을 보이므로, 기존의 안테나 보다 수신율이 좋고 이동거리를 증가시킬 수 있어 MIMO 용 안테나로 응용이 가능하리라 판단된다. 또한, 본 안테나는 2.4GHz 대 무선 LAN에 실내, 또는 실외에서 사용할 수 있도록 안테나 사이즈도 비교적 소형이며, 안테나 크기에 비하여 고 이득 특성을 갖도록 연구 개발되어 먼 거리에서도 수신율이 양호할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 논문에서는 광대역, 양호한 복사패턴, 그리고 고이득 특성을 갖는 새로운 안테나를 제안하였다. FDTD 법으로 안테나를 모델링하여 전계분포를 시간 영역에서 계산하였

고, 이를 Fourier 변환시켜 반사손실, 전압 정재파비 등을 주파수 영역에서 각각 계산하였다. 이러한 계산 값들로부터 제작한 후, 측정된 대역폭은 0.839 octave($S_{11} \leq -10$ dB), 그리고 교차 편파 레벨은 특성은 중심 주파수에서 -25 dB이하의 우수한 특성을 보였다. 또한 사용 가능한 주파수 대역 내에서는 안테나의 최대 이득은 약 5.5dBi 정도의 고 이득 특성을 보였다.

본 연구에서 제안한 안테나는 소형이고 경량이면서 광대역을 필요로 하는 MIMO, UWB, 의료기기, 방송용 시스템에 적용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] D. M. Pozar, B. Kaufman, "Increasing the bandwidth of microstrip antenna proximity coupling," *Electronics Letters*, vol. 23, No. 8, pp. 368-369, April 1987.
- [2] J. R. Kim, H. B. Yoon, "Analysis of the broadband microstrip antenna by the Finite Difference Time Domain Method," *Asia Pacific Microwave Conference(APMC'95)*, pp. 324-327, Oct. 1995.
- [3] D. M. Pozar, "Reciprocity method of analysis for printed slot and slot-coupled microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, pp. 1439-1446, Dec. 1986.
- [4] P. L. Sullivan, D. H. Schaubert, "Analysis of an aperture coupled microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, No.8, pp.977-984, August 1986.
- [5] Y.W. Jang, "Wide-Band T-Shaped Microstrip-Fed Twin-Slot Array Antenna," *ETRI Journal*, vol. 23, no.1, pp.33-38, March 2001.
- [6] S.W. Lee, Y.W. Jang, "Slits and slots arrayed built-in antenna with large-offsets dual-point feed line," *Electronics Letters*, vol.43, pp.853-854, 2007.
- [7] D. M. Sheen, S. M. Ali, M. D. Abouzahra and J. A. Kong, "Application of Three-Dimensional Finite-Difference Time Domain Method to the Analysis of Planar Microstrip Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-38, No.7, pp. 849-857, July 1990.

저 자 소 개



장 용 웅

- 1989년 2월 : 명지대학교 전자공학과 (학사)
- 1991년 8월 : 명지대학교 전자공학과 (석사)
- 1999년 2월 : 아주대학교 전자공학과 (박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 극동정보대학 보건의료공학과 부교수
- 주관심분야 : 안테나, 초고주파, WBAN, RFID, 의료기기, 방송시스템 등