

UWB 타원형 슬롯 안테나의 설계 및 해석

Design and Analysis of UWB Elliptical Slot Antenna

장준원*, 최경, 황희용

(Joon-Won Jang and Kyung Choi and Hee-Yong Hwang)

Abstract : This paper, designed UWB elliptical slot antenna and analysis based on the distribution of the electromagnetic fields pattern and resonant mode of designed antenna is presented. Designed antenna is fabricated on FR4 substrate with thickness of 1.524mm and relative dielectric constant 4.4. The measured bandwidth of 3.6GHz ~ 20GHz for VSWR<2. Through the field pattern and resonant mode analysis that the slot antenna operates on a series of the multi-pole radiation based on TE modes matched to system impedance. And the perfect magnetic wall is along the axis of symmetry on the y-z plane. This result gives us an easier method to design the similar antennas, which is the impedance matching to the system impedance after once constructing a proper structure with a series of multi-mode resonances.

Keywords: Slot Antenna, UWB Antenna, Frequency-independent Antenna, E-H field pattern, Resonant mode,

I. 서론

무선 서비스의 발달로 인한 주파수 자원의 고갈은 통신이 우리의 사회에 미치는 영향을 고려 하였을 때 중대한 문제로 다가오게 되었다. 이러한 문제를 해결 하기 위한 다양한 노력 가운데 1990년대 까지 미국의 국방성 레이더 기술에 적용된 UWB 는 상대적으로 낮은 전력 스펙트럼으로 인해 기존의 무선 통신 시스템에 간섭을 주지 않고 주파수를 공유하면서 높은 전송속도를 가지고 있어 많은 주목을 받았다. 2002년 2월 FCC 에 의해 3.1GHz ~ 10.6GHz까지 상업적 허가를 받게 되면서 본격적인 주목과 함께 자사의 제품의 상용화를 위한 다양한 표준안이 제시 되면서 UWB 기술을 미래 대안의 한 방안으로 주목 받으면서 다양한 연구가 진행되었다[1].

UWB 시스템의 핵심 소자인 안테나는 기존의 안테나와는 다르게 3.2GHz ~ 10.6GHz 에 이르는 초광대역을 만족해야 함으로 기본적으로 주파수 독립적인 안테나 (Frequency-independent antenna)로 설계가 된다. 동시에 실내 같은 근거리에서 주로 사용하게 될 UWB 시스템의 특성상 전체적인 크기의 소형화가 요구되었고 이에 발 맞추어 안테나 또한 소형화가 요구 되었다. 이러한 특성에 적합한 설계 방법으로 인쇄회로기판을 사용한 설계 방법이 적은 비용과 경량, 손쉬운 제작 및 시스템의 부착 면에 있어서 비교적 간단한 장점 등으로 인해 많은 연구자의 주목을 받았다[1][2][3][4].

본 논문에서는 초광대역의 특성을 나타내는 타원형 슬롯 안테나를 설계 하고 이를 필드패턴과 공진모드 분석을 통하여 분석하였다. 설계에 사용한 안테나 기판은 $\epsilon_r=4.4$, $t=1.524\text{mm}$ 의 FR4를 사용하였다.

II. 본론

본 논문에서 설계한 UWB 안테나는 타원형 슬롯을

이용한 안테나 이다. 설계한 안테나는 환형 링 패치 안테나의 변형으로[5] 환형 링 안테나에서 링 패치를 확대하여 그라운드화 하여 링 패치를 직접적인 방사체로 사용하던 것을 링 안쪽의 슬롯을 방사체로 사용하였다. 이는 구조의 단순화와 그라운드의 강화 같은 목적을 두었다. 그림 1 은 설계한 안테나의 구조이다.

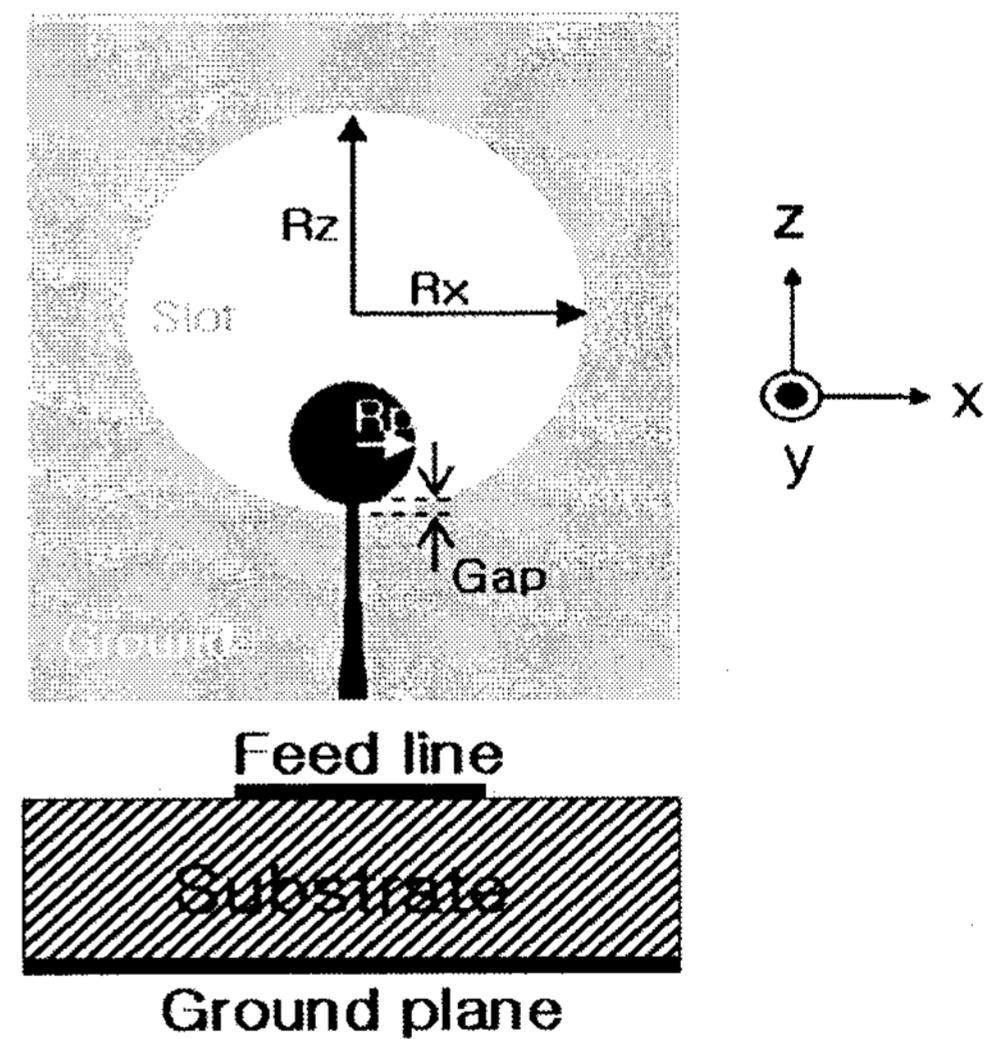


그림 1. 설계한 안테나의 구조

Fig 1. Geometry of designed antenna

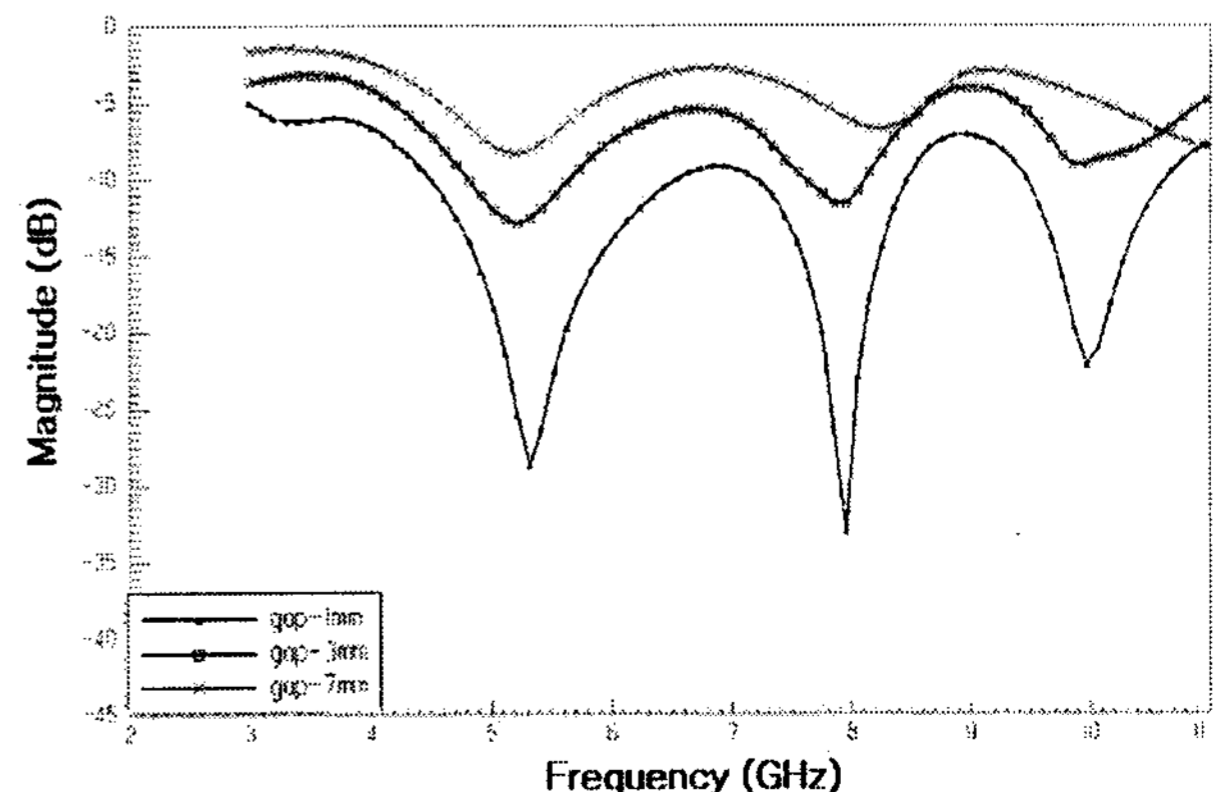


그림 2. 변수 Gap 에 따른 S₁₁ 값의 변화

Fig 2. Return loss for variation of the gap

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.

장준원 : 강원대학교 전기전자공학과 석사과정

(03jrw@kangwon.ac.kr)

최경 : 강원대학교 전기전자공학과 교수

(kyungchoi@kangwon.ac.kr)

황희용 : 강원대학교 전기전자공학과 부교수

(hyhwang@kangwon.ac.kr)

그림 1 에서 초광대역을 유도하는 가장 밀접한 설계변수는 Gap 이다. 이 변수는 원형패치와 타원형 슬롯의 비대칭적인 배치를 나타내는 값이다. 그림 2 는 Gap 의 변화에 따른 S_{11} 값의 변화 모습이다. 다른 설계변수 값들은 고정한 채 Gap 의 값 만을 변화시킨 모습으로 원형패치와 슬롯의 간격이 가까울수록 S_{11} 값이 더 낮아져 1mm 간격일 때 최적의 값을 보인다. 그림 2 에서 Gap 의 최적화에 따른 연속적인 S_{11} 의 극이 생성되어 S_{11} 값이 상승하다가 중첩으로 인한 수렴으로 광대역에서 동작할 수 있는 조건을 갖춘다. 광대역에서 -10dB 이하의 값을 가져 광대역 안테나를 설계하기 위해 임피던스 정합과정을 거쳤다. 정합을 위해 그림 1 에 나온 것과 같이 급전선로에 테이퍼를 적용하여 초광대역에서 정합을 시켰다. 그림 3 은 설계한 안테나의 임피던스 실수값으로 50Ω 근처로 정합되어 있는 것을 확인할 수 있다.

표 1 은 설계한 안테나의 설계변수 값들로 3D Simulator 를 이용해 최적화 하였다. 여기서 Rx 와 Rz 값은 슬롯의 크기를 나타내는 값으로 공진주파수와 관련이 있다.

그림 4 는 설계한 안테나의 S_{11} 시뮬레이션과 측정값 비교 모습이다. 시뮬레이션과 측정값이 매우 유사하고, 측정값을 보면 3.6GHz ~ 20GHz 의 초광대역 특성을 보이고 있다. 그림 4 를 통해 주기적인 S_{11} 의 극이 생성되고 있고 이는 주기적인 공진의 생성을 말하며 다수의 공진점의 생성은 다수 모드의 생성을 예상 할 수 있다.

그림 5 는 설계한 안테나의 임피던스 허수값이다. 임피던스 허수 값이 0 이 되는 주파수가 공진이 발생하는 지점이다. 그림 5 를 보면 그림 4 를 통해 예상한 주기적인 공진이 나타나는지를 확인할 수 있다. 주기적인 공진은 안테나 설계 시 원형의 패치와 타원형의 슬롯의 비대칭적인 배치로 인한 것이다. 스미스 차트에서 볼 때 광대역에서 주기적인 공진의 발생과 정합이 같이 이루어 지면 광대역에서 스미스 차트상에 허수 값이 0 인 가운데 선을 지나면서 50Ω 지점인 정 가운데 지점으로 모이는 형상을 보여 그림 6 과 같은 모습을 보인다. 스미스 차트를 통해 주기적인 공진과 정합의 여부를 알 수 있다.

모드란 특정 주파수의 에너지가 집중되는 형태로 전자파의 진행 형태에 따라 모드의 이름이 결정되고 파수에 따라 모드의 계수가 결정된다[6]. 고정된 형태의 구조를 가지고 있는 경우 공진이 발생할 때 모드가 선택되는데 설계한 안테나와 같이 다수의 주기적인 공진이 발생한다면 이는 한가지 이상의 모드가 선택되어 진다. 이는 결국 다중모드의 발생으로 초광대역 안테나의 조건과 관련된다. 이와 같이 초광대역 안테나로 동작하기 위한 조건은 주기적인 공진으로 인한 다중모드의 선택과 초광대역에서 임피던스 정합이다.

설계한 안테나에서 선택되는 모드를 보기 위해 x-y 평면의 E-field 분포와 주파수별 표면전류 분포 모습을 보았다.

표 1. 설계한 안테나의 설계변수

Table 1. Parameters of designed antenna

안테나 설계변수	Rx	Rz	Rp	Gap
값(mm)	19.0	21.0	6.0	1.0

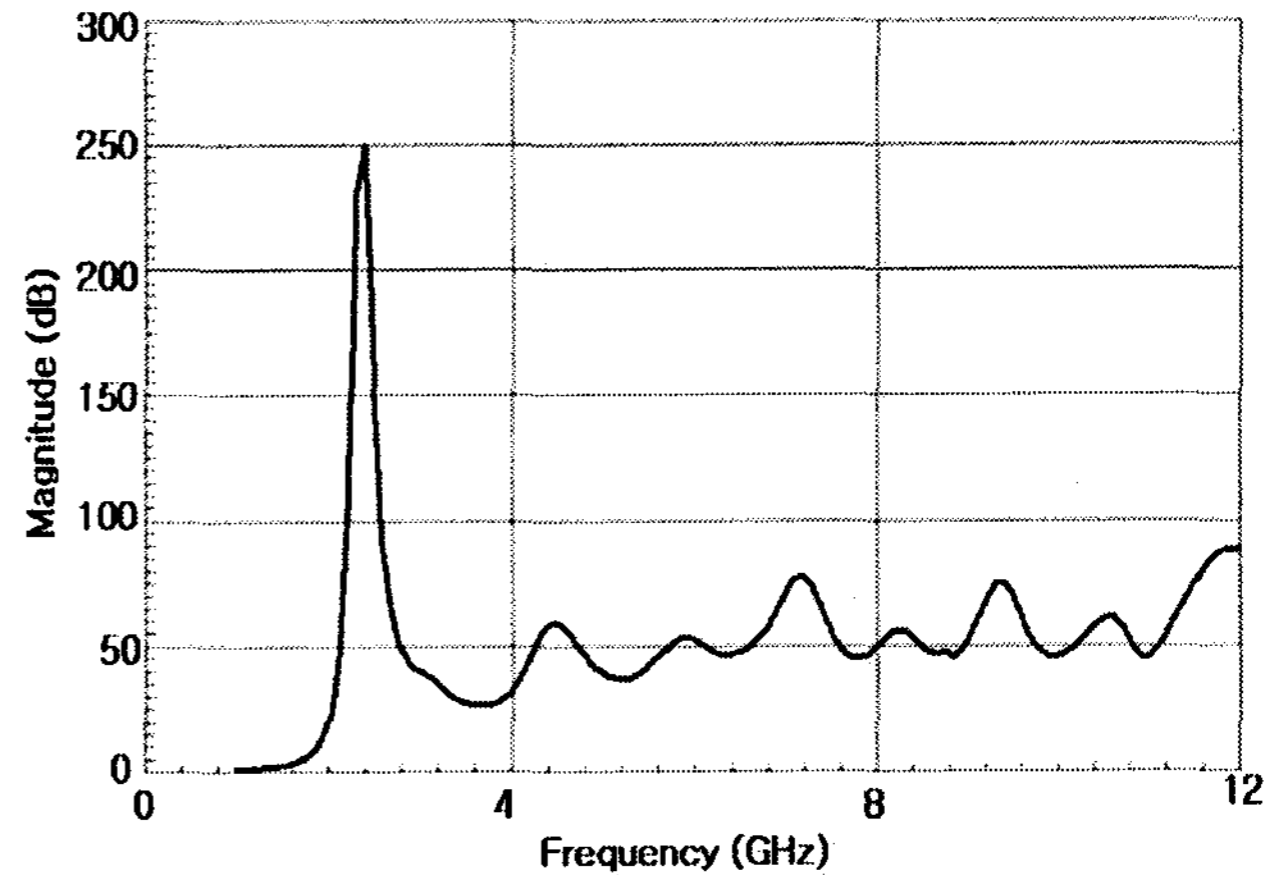


그림 3. 설계한 안테나의 임피던스 실수값
Fig 3. Impedance real data of designed antenna

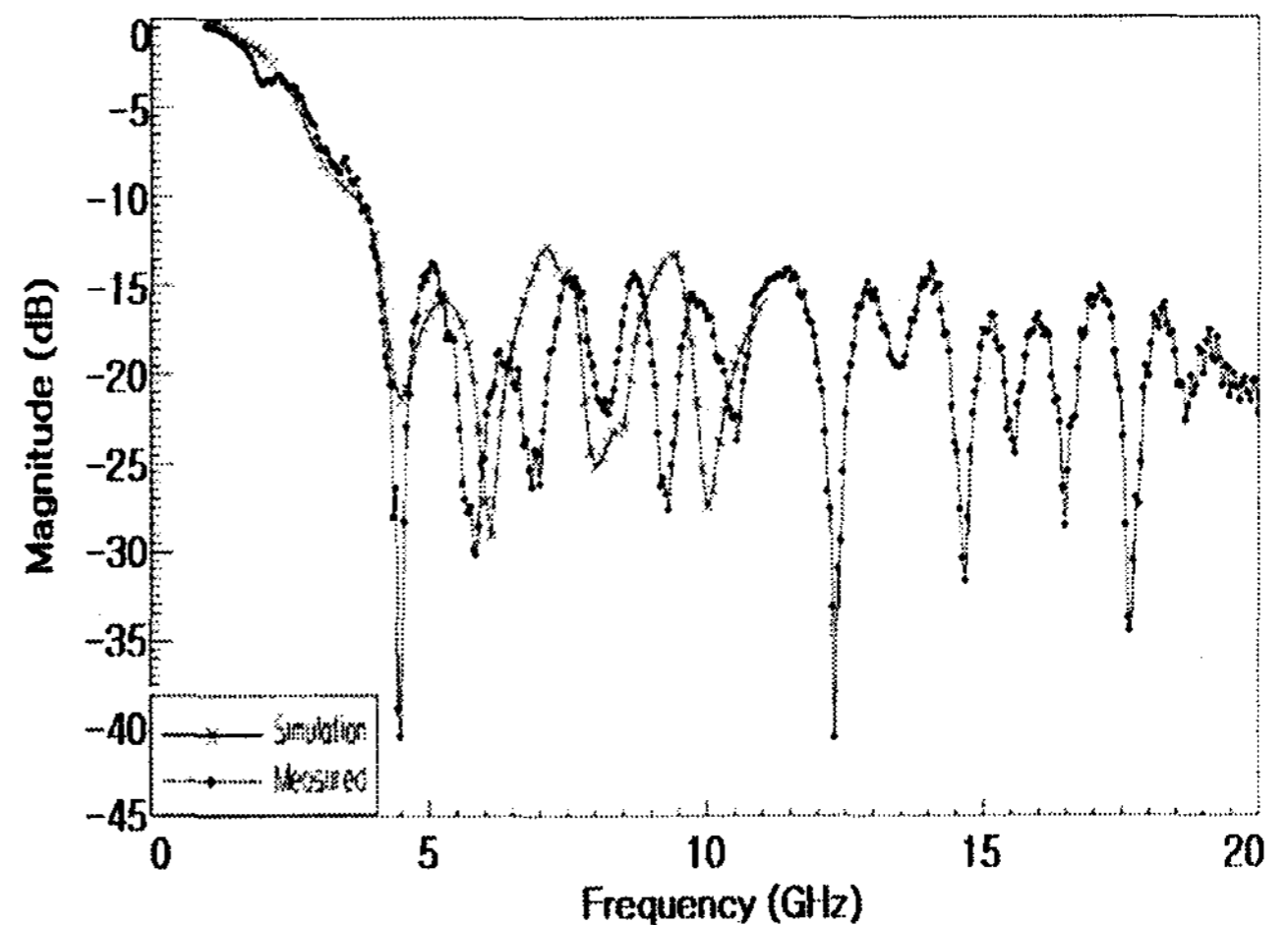


그림 4. 설계한 안테나의 S_{11} 시뮬레이션 과 측정값 비교
Fig 4. Simulation and Measured S_{11} data of designed antenna

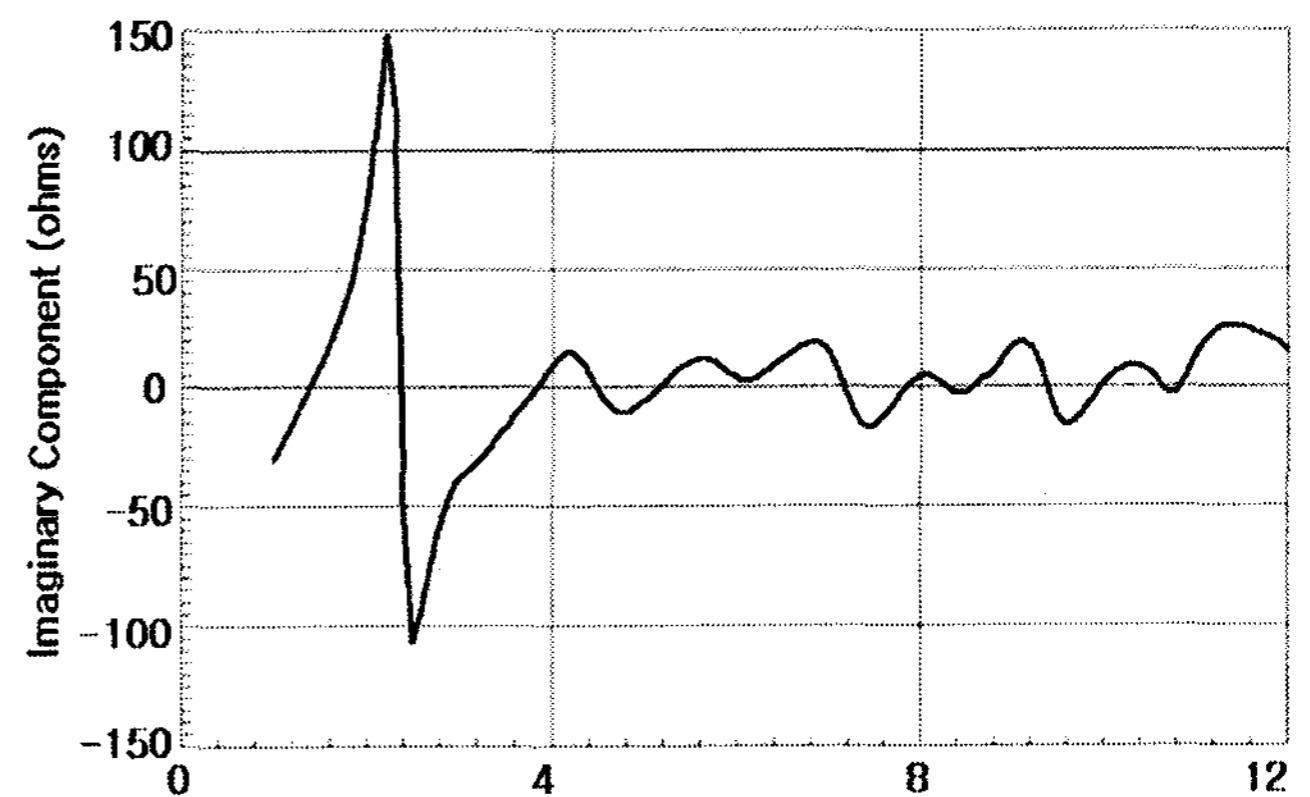


그림 5. 설계한 안테나의 임피던스 허수값
Fig 5. Impedance Imaginary data of designed antenna

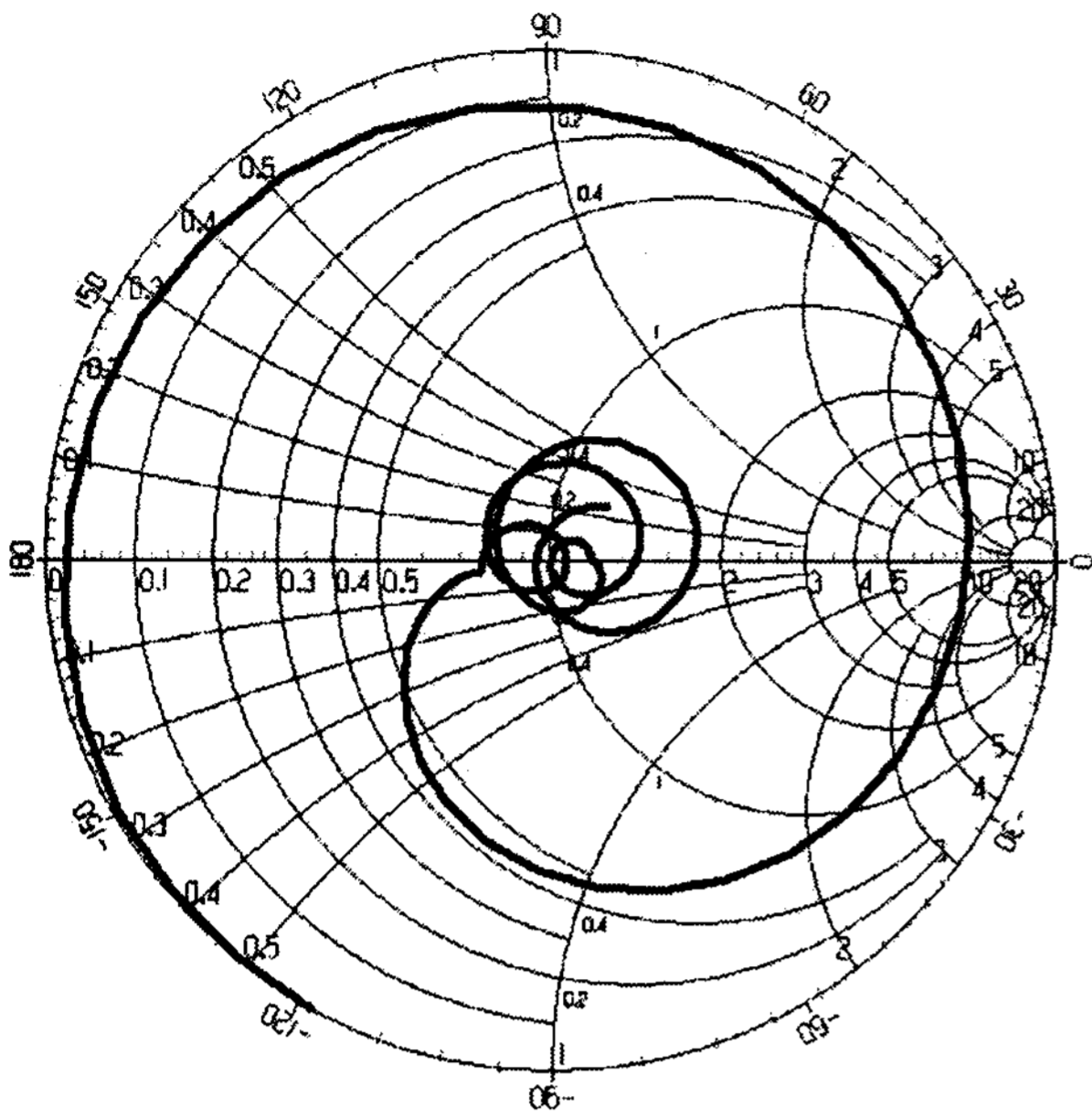


그림 6. 설계한 안테나의 스미스 차트 시뮬레이션 모습
Fig 6. Smith chart of designed antenna simulation

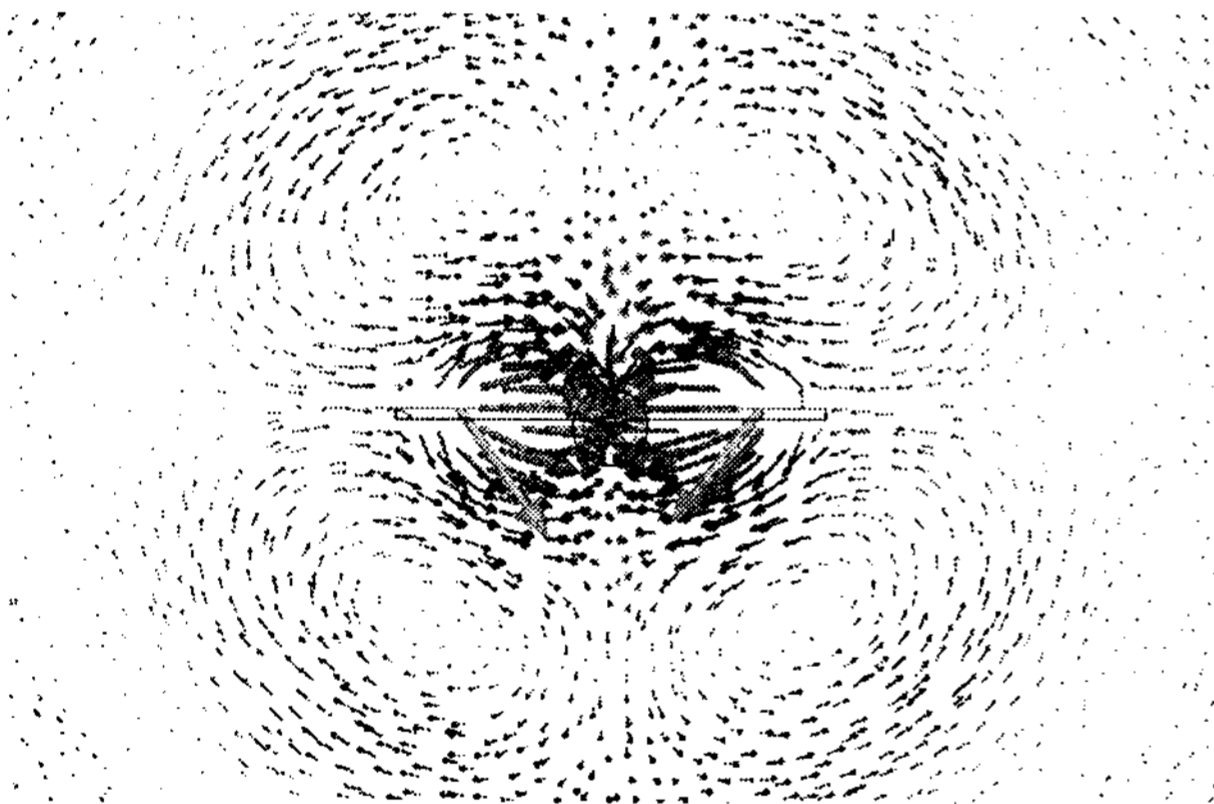


그림 7. x-y평면에서 설계한 안테나의 E-field (4.5GHz)
Fig 7. E-field of designed antenna on the x-z plane (4.5GHz)

그림 7 은 x-y 평면에서 설계한 안테나의 E-field 모습이다. 슬롯의 경계에서 E-field 의 분포가 접선으로 되어 있고 슬롯을 방사체로 사용하기 때문에 설계한 안테나의 모드는 TE 모드로 선택된다. 패치와 슬롯은 쌍대(dual) 관계를 가지고 있으므로[7] 일반적인 원형 패치 안테나가 TM 모드로 선택되므로[8][9] 원형 슬롯 안테나인 설계한 안테나는 TE 모드로 선택된다.

그림 8은 설계한 안테나의 주파수별 표면전류 분포 모습이다. 슬롯의 가장자리로 표면전류 분포가 집중되어 있어 슬롯의 크기와 공진주파수 간의 관련이 있다. 그림 5에서 UWB 대역 안에 주기적인 공진이 발생하고 있으므로 이는 UWB 대역 안에서 한 개 이상의 모드가 선택되고 있음을 알 수 있다. 그림 7을 통해 TE 모드가 선택되어짐을 알고 그림 8을 통해 TE 모드의 계수를 알 수 있다. 그림 8에서 생성되는 극점의 모습은 그 지점에서 전류 값이 0이 되는 지점이다. 2개의 극점이 생성될 때 그 주파수에서 한 파장에 해당하는 물리적 길이를 가지고 있는 것이다. 모드의 계수는 단위

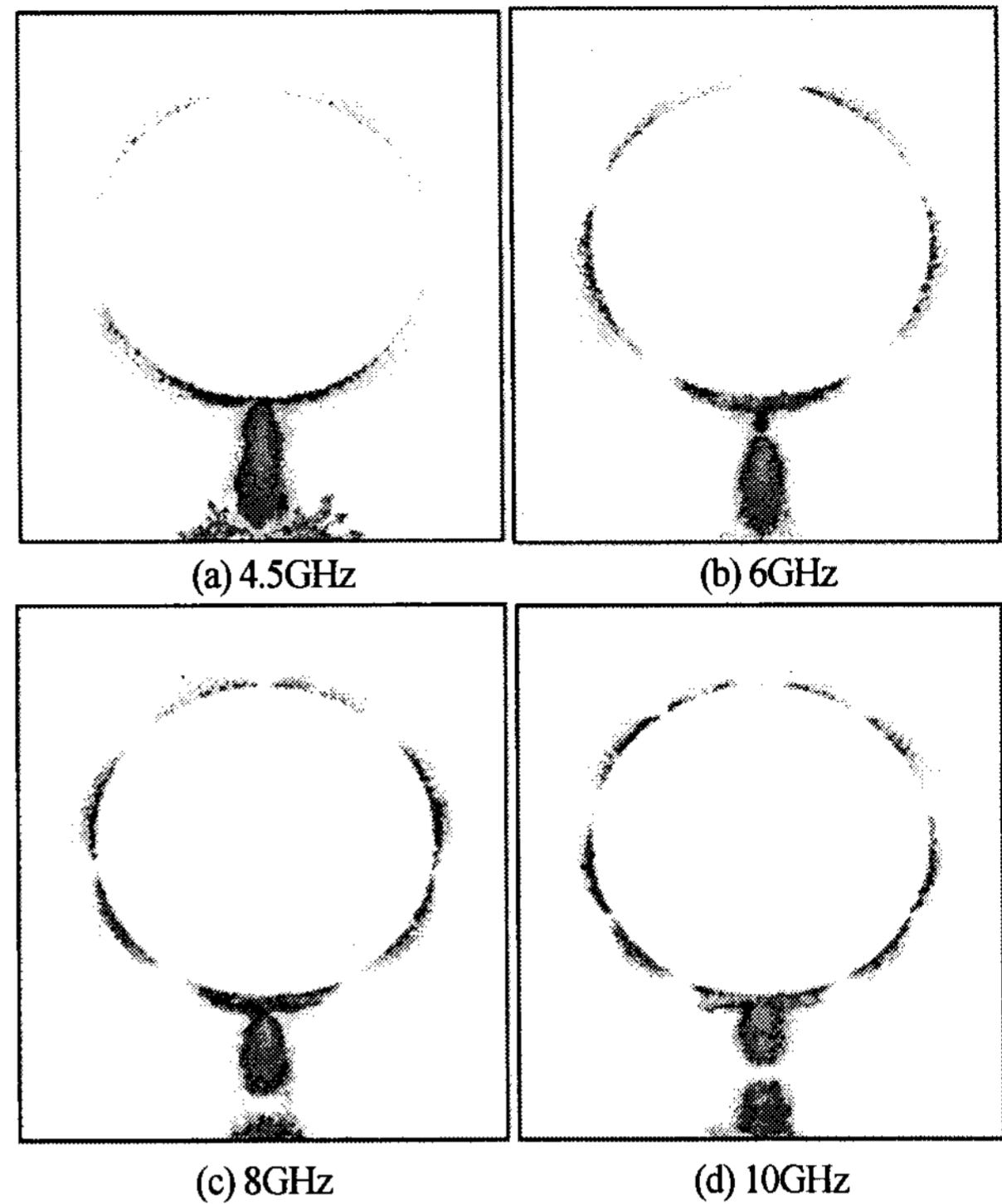


그림 8. 설계한 안테나의 표면전류 분포
Fig 9. Surface current distribution of designed

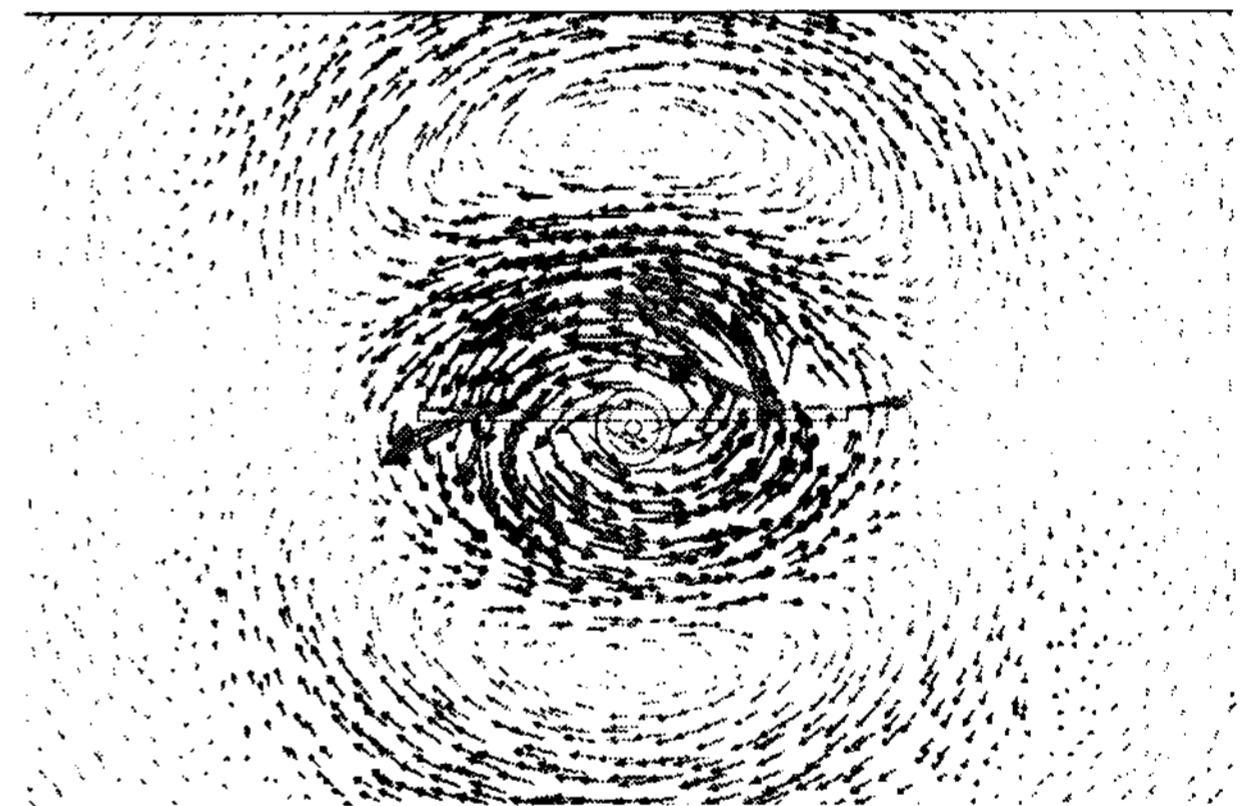


그림 9. x-y 평면에서 설계한 안테나의 H-field (4.5GHz)
Fig 9. x-y 평면에서 설계한 안테나의 H-field (4.5GHz)

진행 경로당 몇 개의 반파장이 들어 있는가로 생각할 수 있다. 설계한 안테나의 경우 진행경로가 원형의 슬롯을 두고 2개로 나누어진다고 볼 수 있으므로 그림 8의 (a) 의 경우 극점이 4개로 나타나 4.5GHz의 2파장의 물리적 길이를 가진다고 볼 수 있으며 하나의 진행경로에 2개의 반파장의 길이가 있다. 결국 그림 8의 (a) 의 경우 TE₂ 모드로 선택되어진다. 그림 (b) 의 경우 극점의 개수가 6개 이므로 모드는 TE₃ 모드로 선택되어진다. 그림 (c) 는 TE₄ 그림 (d) 는 TE₅ 모드로 설계한 안테나는 UWB 대역 안에서 연속적인 TE 공진 모드로 선택된다.

그림 8의 경우 필드 패턴이 y-z 평면을 중심으로 대칭을 이루고 있다. 그림 9는 x-y 평면에서 본 설계한 안테나의 H-field 모습이다. H-field 의 경우 회전하는 고리를 가지면서 y-z 평면에서 수직하는 방향을 가지고 있다. y-z 평면을 중심으로

E-field 가 대칭을 이루고 H-field 가 수직하는 성분을 가지고 있으므로 이면을 완전 자계 벽 (perfect magnetic wall)으로 볼 수 있다[10]. 완전 자계 벽의 경우 구조물을 그 면을 중심으로 반으로 나누어도 나누기 전과 완전히 동일한 특성을 가진다. 이를 안테나의 소형화 방법에도 적용 할 수 있다.

III. 결론

본 논문은 타원형 슬롯을 이용한 UWB 안테나를 설계하고 이를 필드 패턴과 공진 모드 분석을 통하여 분석 하였다. 설계한 안테나의 경우 원형 패치와 타원형 슬롯의 비대칭적인 배치를 통하여 다중 공진을 유도하였고 급전선로에 테이퍼를 적용하여 광대역에서 임피던스 정합을 시켰다. 이를 필드 패턴과 공진 모드 분석을 통한 결과 TE 모드로 TE₂, TE₃, TE₄, TE₅ 의 연속적인 TE 모드로 선택되어 짐을 확인 하였고 이는 다수의 모드가 연속적으로 선택된다. 위 의 결과를 통해 초광대역의 안테나를 설계 할 때에는 다중공진을 유도하는 적절한 구조를 설계하고 이에 임피던스 정합을 하면 초광대역 안테나를 설계 할 수 있다.

참고문헌

- [1] 장준원, 황희용 “초광대역 타원형 슬롯 패치 안테나 설계,” 종합학술대회, Vol. 16, No. 1, pp.606-611, 2006년 11월.
- [2] P.Li, J.Liang, X.Chen “CPW-Fed Printed Elliptical Slot Antenna With Fork -Like Tuning Stub,” *Microwave conference 2005 European*, Vol. 1, October 2005.
- [3] P.Li, J.Liang, X.Chen, “Ultra-wideband Printed Elliptical Slot Antenna,” *Antenna and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE*, Vol. 3A, pp. 508-511, July 2005.
- [4] J.Liang, L.Guo, C.C.Chiau, X.Chen, C.GParini, “Study of CPW-Fed Circular Disc Monopole Antenna for Ultra Wideband Application,” *IEE Proc-Microw, Antennas Propag*, Vol. 152, No. 6, pp. 520-526, 2005. 6.
- [5] 최원규, 황희용, 최경, 최세하, “환고리형 패치 안테나의 초광대역 설계,” 한국정보통신설비학회논문지, 제2권, 제 4호, 2003. 12.
- [6] “WWW.RFDH.COM”
- [7] Kai Chang, “*Microwave Ring Circuits and Antennas*,” Wiley, pp. 252-255, 1996.
- [8] Y. S. Wu, F. J. Rodenbaum, “Mode Chart for Microstrip Ring Resonators,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, Vol. MTT-21, pp. 487-489, July. 1973.
- [9] Weng Cho Chew, “A Broad-Band Annular-Ring Microstrip Antennas,” *IEEE Transactions on antennas ans propagation*, Vol. AP-30, No. 5, PP. 918-922, 1982. 9.
- [10] David M Pozar, “*Microwave Engineering*,” Wiley, pp. 14, 2005년