

## 블루투스용 역-F형 안테나 최적 설계에 관한 연구

김갑기\* · 박계각\*\*

\*목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수, \*\*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

### A study on the Optimum Design of an Inverted-F Antenna for the Bluetooth system

Kab-Ki Kim\* · Gyei-Kark Park\*\*

\*Mokpo National Maritime University Faculty of Marine Electronic and Communication Eng

\*\*Mokpo National Maritime University Faculty of Marine Transportation System

**요 약** : 본 논문에서는 2.4GHz(ISM) 대역의 블루투스 시스템에 사용되는 역-F형 내부 안테나의 설계 파라미터 값에 따른 안테나 특성을 분석하였다. PCB 기판에 인쇄된 형태로 설계하여 안테나의 길이, 단락 스텐브의 두께, 피드선과 단락 스텐브 사이의 간격, 안테나와 접지면 사이의 간격, 안테나의 두께 및 기판의 두께와 기판의 유전율에 따른 특성 변화를 연구하였다. 설계 값에 따른 특성 변화로부터 설계 파라미터 값을 튜닝하여 최적의 안테나를 설계하는 방법을 보였다. 설계된 안테나는 VSWR이 1.5이하인 주파수 대역폭이 6.3%(150MHz)였으며, 이득은 3dBi 정도를 얻었다.

**핵심용어** : 개인휴대 통신 단말기, ISM, 인쇄회로기판

**Abstract** : In this paper, the characteristics of an inverted-F antenna for the 2.4GHz(ISM) Bluetooth system have been analysed in terms of the variation of design parameters. The antenna can be integrated on printed circuit board, and the characteristics in terms of the variation of the gap between feed line and shorting stub, gap between antenna's leg and ground plane, antenna leg's width, substrate's height and dielectric constant are analysed. By using these characterization plot of design parameter, the tuning techniques are proposed to design optimum antenna. The designed antenna has 6.3%(150MHz) frequency bandwidth for VSWR under 1.5, and 3dBi gain.

**Key words** : Personal Digital Assistance. Industrial Scientific and Medical. Printed Circuit Board.

### 1. 서 론

최근 ISM 주파수 대역을 이용하는 근거리 무선 통신 시스템으로 블루투스 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되어지고 있다. 또한 블루투스 시스템은 근거리 무선 통신에 사용할 수 있으며 비교적 좁은 대역(3.5%)에서 응용이 가능하고 100mW이내의 적은 전력을 사용하기 때문에 최근 여러 종류의 블루투스용 안테나들이 선보이고 있다(Harsten, 2000). 그러나 블루투스 시스템에 사용되는 안테나는 전체 시스템의 소모 전력을 결정하는 중요한 부분이며 시스템의 BER등이 성능에 영향을 미치므로 이에 대한 특성 개선에 대한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 칩형 안테나로 FR4 기판을 적층한 칩 형태나 PCB 보드 상에 직접 인쇄된 형태의 안테나가 주를 이루고 있다. 그 중에서도 PCB 보드 상에 직접 인쇄된 형태의 역-F형 안테나는 대표적인 3면 안테나인 마이크로스트립 안테나를 변형한 형태로서 한쪽 면을 단락시켜 물리적 크기를 줄일 수 있기 때문에 단말기 내부에 장착이 가능하여 기존 단말기와 달리 휴대의 편리성을 높일

수 있다(Specification of the Bluetooth System, 2001 : Ali & Gerald, 2000). 특히 본 논문에서와 같이 PDA등의 단말기 기판의 양면 중에서 접지면으로 사용되는 면에 인쇄된 형태로 안테나를 구현함으로써 윗면과 아랫면을 각각 분리하여 사용할 수 있기 때문에 전체 시스템을 구현하는 경우 비용절감과 시스템이 차지하는 공간을 대폭 줄일 수 있다. 또한 PCB 보드의 접지면을 이용함으로써 대역폭 및 이득을 보다 개선할 수 있으며, 기판상의 인덕티브 튜닝 스텐브를 이용하여 안테나의 정합을 용이하게 할 수 있고, 단락 스텐브를 이용하여 그 값을 보상할 수 있다(Ali, Sadler and Hayes, 2002).

본 연구에서는 PDA등의 접지면에 직접 인쇄된 형태의 역-F형 안테나의 특성을 해석하기 위해 필드 해석 프로그램인 HFSS(High Frequency Structure Simulation)를 이용하여 시뮬레이션을 통하여 프린트된 형태의 역 F형 안테나를 설계하였으며 구현된 역-F형 안테나의 설계 파라미터의 변화에 따른 안테나 특성 변화를 해석하고 이 설계 파라미터 값을 이용하여 최적의 안테나를 설계하였다.

\* 대표저자 : 김갑기(정회원), microkim@mail.mmu.ac.kr 061)240-7119

\*\* 정회원, gkpark@mail.mmu.ac.kr 061)240-7128

## 2. 역-F형 안테나 구조 및 특성 분석

### 2.1 역-F형 안테나 구조의 해석 모델링

안테나 구조는 프린트형태의 다이폴, 마이크로스트립 패치, 세라믹 칩 등의 형태로 설계할 수 있다. 프린트형태의 다이폴은 방사패턴은 좋지만 크기가 커지는 단점이 있고, 세라믹 칩 안테나는 효율에 비해 단가가 비싸며, 마이크로스트립 패치는 적은 비용과 원하는 방사패턴을 얻을 수 있지만, 대역폭이 좁은 단점이 있다. 그러나 프린트된 형태의 역-F형 안테나는 정합이 용이하고 PCB 에 인쇄함으로써 적은 비용으로 구현이 가능하고 효율, 대역폭 및 방사패턴이 좋은 장점이 있다.

역-F형 안테나는 모노폴 안테나의 변형된 형태이며 구조는 안테나 다리 부분과 접지면이 평행하게 포개져있다. 안테나 다리와 접지면사이의 간격을 조정하여 입력 임피던스의 리액턴스 성분을 조절할 수 있으며 단락 스텐브를 이용하여 값을 보상할 수 있다. 그러므로 역-F형 안테나에서는 안테나 다리와 접지면사이의 간격, 단락 스텐브의 간격 등이 정합을 하는데 중요한 변수가 된다(Sneddon, 1999 : Soras et al., 2002).

역-F형 안테나의 방사패턴은 등방성에 가까운 패턴을 얻을 수 있으며 대역폭은 모노폴 안테나에 비해 좁게 나타난다(Balanis, 1997).

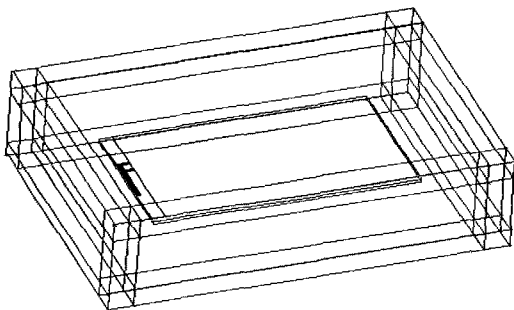


Fig. 1 The HFSS analysis model of inverted-F type antenna

Fig. 1은 전자기장 해석 시뮬레이션 프로그램인 HFSS (High Frequency Structure Simulation)를 이용한 역-F형 안테나의 해석 모델을 보여준다. HFSS는 FEM(Finite Element Method) 방식을 사용하여 안테나 구조를 최적의 메시로 나누어 이로부터 안테나의 반사계수,  $S_{11}$  및 방사패턴 등을 계산하여준다.

### 2.2 설계 파라미터에 따른 안테나의 특성 결과 분석

역-F형 안테나 설계시 안테나 특성 값은 여러 안테나 파라미터 값의 변화에 의해 최적화할 수 있다. 이 중 PCB 기판 상에 프린트 된 형태에서 변화할 수 있는 값은 Fig. 2에서 안테나 다리의 길이  $l$ 과 두께  $w_2$ , 단락 스텐브의 두께  $w_1$ ,

피드 라인과 단락 스텐브사이의 간격  $s$ , 안테나 다리와 접지면 사이의 간격  $h$ , PCB 기판의 두께와 유전율  $\epsilon_r$  등이다. 이들 각각의 파라미터의 변화에 대하여 안테나 특성 변화를 분석하기 위한 초기의 안테나 파라미터 값이 Fig. 2에 나타내어진다.

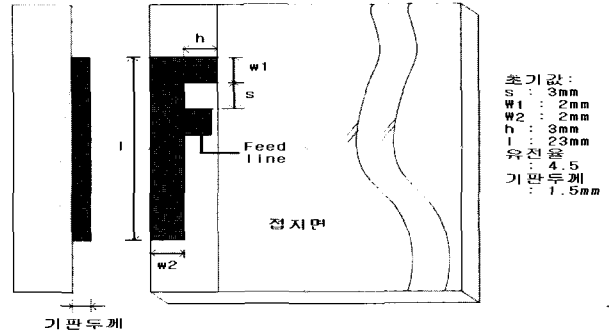


Fig. 2 Designed parameters for an inverted-F type antenna on PCB

PCB 양면기판 중에서 윗면은 프린트 된 안테나를 보여주고 있으며 밑면은 근거리 무선 통신 시스템에서 사용 가능한 다른 회로들의 설계가 가능하다.

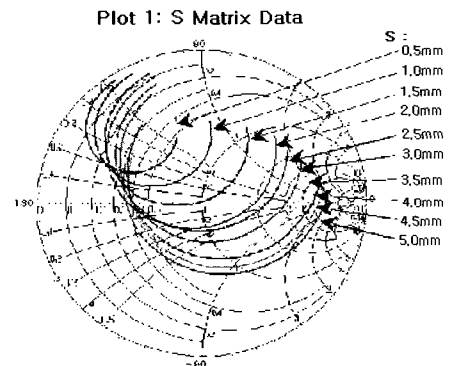


Fig. 3 Reflection coefficients as function of the gap between feed line and short stub

안테나의 설계 파라미터들 중 단락 스텐브와 피드선사이의 간격  $s$ 를 변화시켰을 때의 주파수 2 ~ 2.9GHz까지 변화시킨 후 해석되어진 반사계수를 스미스도표 상에 나타내지는 것을 Fig. 3이 보여주고 있다.

Fig. 3에서 피드라인과 단락 스텐브 사이의 간격  $s$ 를 2mm에서 5mm까지 변화시킬 경우 반사계수 형태로 분석한 결과  $s$  값의 변화가 반사계수에 민감하게 영향을 미침을 알 수 있다. 즉 단락 스텐브와 피드선사이의 간격은 입력 임피던스의 레지스턴스 값과 리액턴스 값을 동시에 변화시킴을 알 수 있으며 이를 각각 레지스턴스와 리액턴스 부분으로 구분하여 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

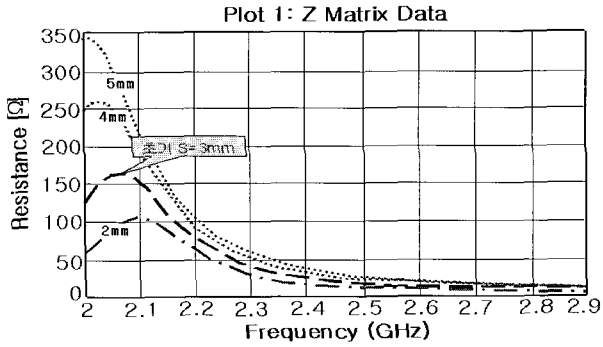


Fig. 4 The variation of resistance of input impedance as function of the gap between feed line and short stub

Fig. 4에서 피드선과 단락 스텐브 사이의 간격이 5mm에서 2mm로 좁아짐에 따라 입력 임피던스의 레지스탕스 값은 낮아짐을 알 수 있다.

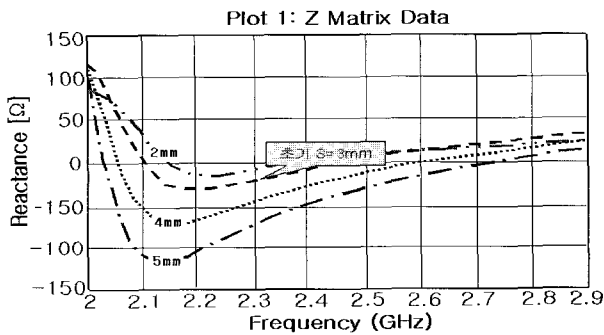


Fig. 5 The variation of reactance of input impedance as function of the gap between feed line and short stub

또한 Fig. 5로부터 입력 임피던스의 리액턴스가 0이 되는 주파수가 점차로 낮아짐을 알 수 있다. 결과적으로 피드선과 단락 스텐브사이의 간격을 변화시킨 경우  $S_{11}$ 의 값이 Fig. 6과 같이 나타내어진다.

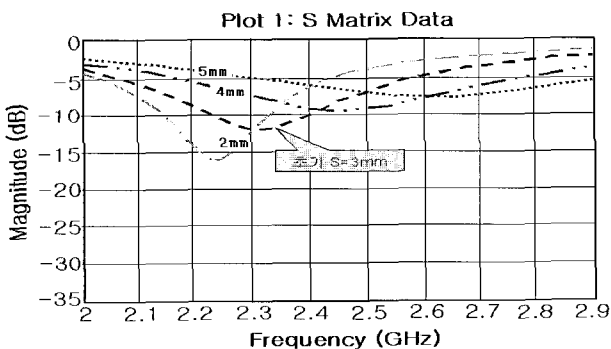


Fig. 6 The variation of  $S_{11}$  as function of the gap between feed line and short stub

단락 스텐브의 두께  $w_1$ 의 변화에 대한 입력 반사계수 변화에 대한 결과가 Fig. 7에 나타나 있다.

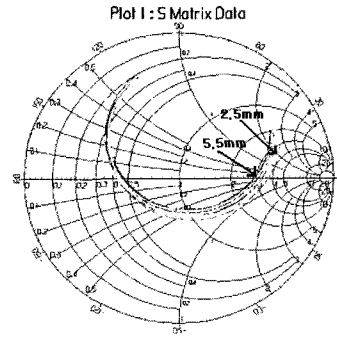


Fig. 7 The variation of reflection coefficients as function of the short stub thickness

Fig. 7에서 보여주는 것과 같이 단락 스텐브의 두께  $w_1$ 를 2.5mm에서 5.5mm로 변화 시켰을 때 반사계수의 변화는 별 차이가 없음을 알 수 있었으며 초기 값인 2mm를 사용하였다.

안테나 다리와 접지면사이의 간격  $h$ 를 3.25mm에서 5.5mm까지 변화시킨 경우 입력 반사계수는 Fig. 8과 같이 주로 리액턴스값이 인덕티브쪽으로 이동해 감을 알 수 있다.

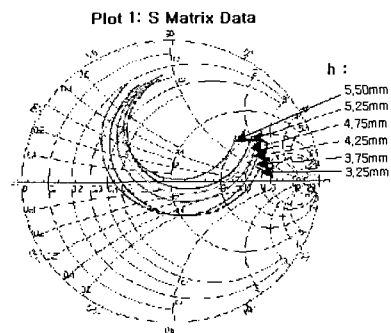


Fig. 8 The variation of  $S_{11}$  as function of the gap between antenna leg and ground plane

그림 8은  $h$ 의 값이 안테나의 입력 임피던스 정합에 중요한 변수로 작용하기 때문에 본 논문에서 제안하는 최종 튜닝 절차에 의해 설계 값을 결정하였다.

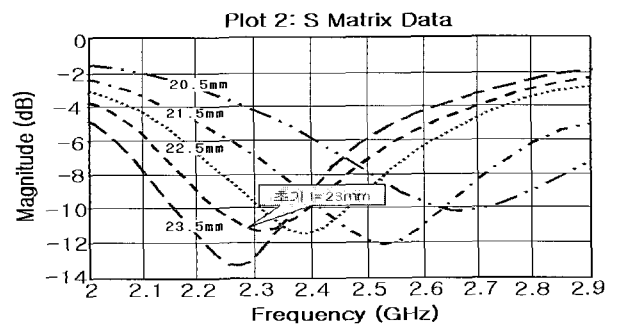


Fig. 9 The variation of  $S_{11}$  as function of the antenna leg's length

안테나 다리의 길이  $l$ 값을 20.5mm에서 23.5mm로 변화시킨 것에 대한  $S_{11}$ 을 Fig. 9에서 보여주고 있는데, 안테나 다리의 길이 변화는 공진 주파수에만 영향을 미침을 알 수 있다.

안테나 다리의 두께  $w_2$ 를 0.75mm에서 3.75mm까지 변화시켰을 때 반사계수를 Fig. 10에 나타내었다.

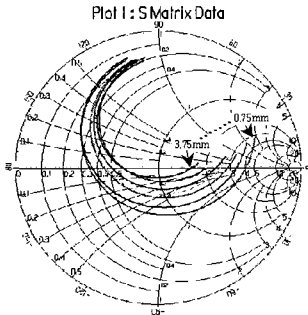


Fig. 10 The variation of  $S_{11}$  as function of the antenna leg's width

안테나 다리의 두께 역시 입력 임피던스를 변화시킬 수 있으며 이로부터  $S_{11}$ 의 값은 Fig. 11과 같이 변화됨을 알 수 있다.

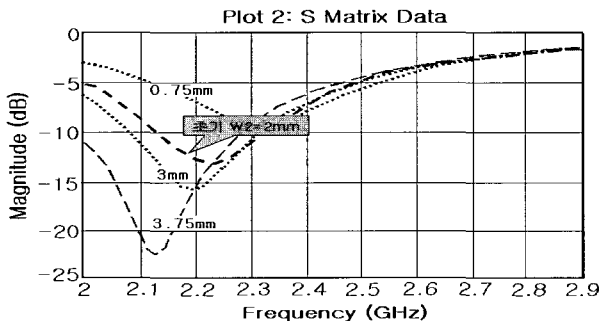


Fig. 11 The variation of  $S_{11}$  as function of the antenna leg's width

안테나 설계 파라미터 중 기판의 두께를 조정하여 안테나의 공진 주파수를 변화시킬 수 있다. 기판의 두께를 1.2mm에서 1.6mm로 변화시켰을 때의 안테나의  $S_{11}$ 의 변화를 Fig. 12에 나타내었다.

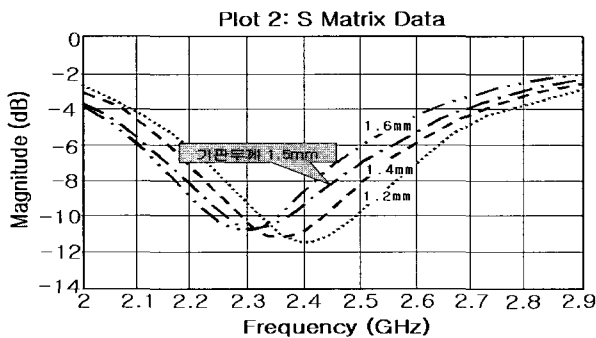


Fig. 12 The variation of  $S_{11}$  as function of the substrate's height

기판의 유전율을 2.5 ~ 5.5까지 변화시킨 경우 기판 유전율의 변화에 따른  $S_{11}$ 의 변화를 그림 Fig. 13에 나타내었다.

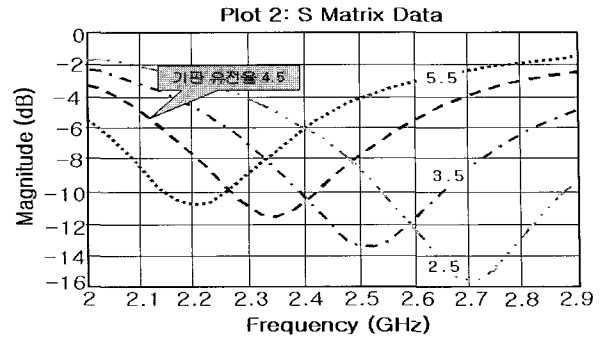


Fig. 13 The variation of  $S_{11}$  as function of the substrate's dielectric constant

이로부터 기판의 유전율이 높을수록 공진 주파수가 낮아짐을 알 수 있었고 따라서 높은 유전율을 갖는 기판을 사용할 경우 안테나의 크기를 줄일 수 있게 된다.

### 3. 안테나 튜닝 기법에 의한 최적화

안테나 설계 파라미터에 대한 파라미터의 시뮬레이션 결과로부터 최적화된 역-F형 안테나를 설계할 수 있다. 설계 파라미터 중 입력 임피던스를 크게 변화시키는 변수는 피드 라인과 단락 스테브의 간격, 안테나 다리와 접지면사이의 간격, 안테나 다리의 두께 순서임을 알 수 있다. 또한 안테나 다리의 길이나 기판의 두께 그리고 기판의 유전율은 공진 주파수를 이동시켜줄 수 시뮬레이션 결과들로부터 확인할 수 있다. 따라서 역-F형 안테나 설계시 원하는 주파수 대역에서 정합이 완전히 되는 설계 값들을 찾는데 이들 시뮬레이션 결과 값을 이용하면 최적화된 안테나를 구현할 수 있게 된다.

Fig. 14는 본 논문에서 제안한 역-F형 안테나의 튜닝 방법을 보여주고 있다.

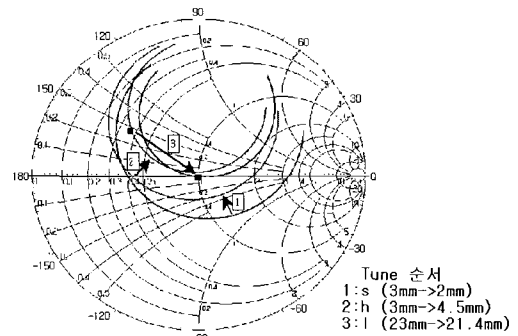


Fig. 14 Antenna optimization by tuning the design parameters

첫 번째로 입력 임피던스에 가장 영향을 미치는  $s$ 값을 조정하여 입력 임피던스를 어느 정도 정합이 용이한 쪽으로 이

동시킨다(Fig. 14의 1번). 그리고 두 번째로 안테나 다리와 그라운드 사이의 간격  $h$ 를 조정하여 완전히 정합된 점이 존재하도록 스미스 도표 상에 나타난 입력 반사계수 값을 이동시킨다(Fig. 14의 2번). 마지막으로 안테나 다리의 길이를 조정하여 원하는 주파수에서 정합이 되도록 스미스 도표 상에 나타난 입력 반사계수 값을 이동시킨다(Fig. 14의 3번).

튜닝 방법에 의해 최적화된 역-F형 안테나의 최종 설계 파라미터 값들이 Fig. 15에서 보여준다.

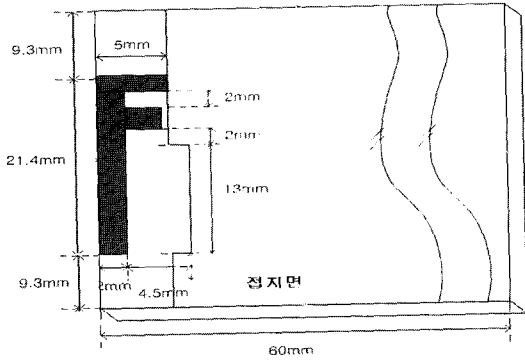


Fig. 15 The designed inverted-F antenna and dimension

설계되어진 안테나의 전체 사이즈는 길이 21.4mm, 그리고 폭 6.5mm이며 설계된 안테나가 프린트된 PCB 접지면 즉 기판의 크기는 가로 60mm 세로 40mm이다. 설계된 안테나에서 안테나 다리와 접지면사이의 간격  $h$ 는 입력 임피던스 정합에 중요한 변수로 작용한다.

따라서 입력 임피던스를 쉽게 정합하기 위해서 그림과 같이 안테나 다리에서부터 접지면까지의 거리와 홈의 길이를 튜닝 하였다.

그 결과 안테나 다리에서 접지면까지의 거리가 약 4.5mm 그리고 홈의 길이가 13mm일 때 최적함을 알 수 있었다. 최적화된 안테나의  $S_{11}$ 값은 Fig. 16에서 보여준다.

급전위치는 다른 설계변수와 달리 공진 주파수 및 반사손실에 크게 영향을 미치지 않지만 피드라인과 단락스터브 사이의 간격이 2mm 정도 떨어 졌을 때 원하는 2.4GHz에서 공진 주파수를 가지며 반사손실과 대역폭 특성이 좋았다.

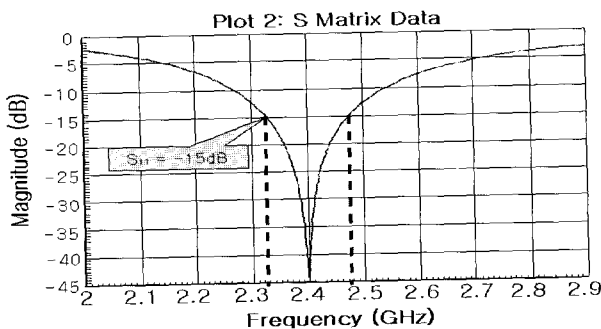
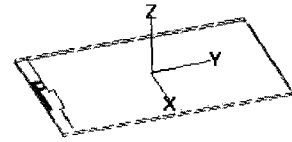


Fig. 16 The  $S_{11}$  of designed inverted-F antenna



Antenna Gain Patten(dB) vs Phi at 2400MHz. Surface = faces1

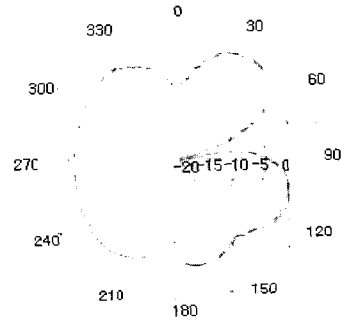


Fig. 17 The radiation pattern of designed inverted-F antenna (X-Y plane  $E_{\theta}$ )

Antenna Gain Pattern (dB) vs Theta at 2400MHz. surface = faces1

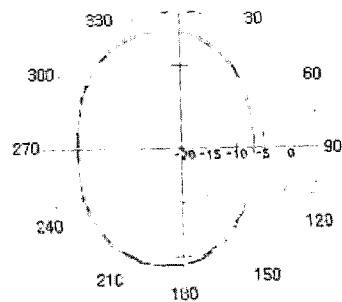


Fig. 18 The radiation pattern of designed inverted-F antenna (X-Z plane  $E_{\theta}$ )

Antenna Gain Pattern (dB) vs Theta at 2400MHz. surface = faces1

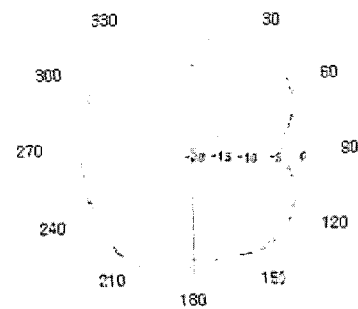


Fig. 19 The radiation pattern of designed inverted-F antenna (Y-Z plane  $E_{\theta}$ )

이로부터  $S_{11}$ 이 -15dB 이하가 되는 주파수 대역폭은

6.3%(150MHz)정도가 됨을 알 수 있으며, 2.4GHz에서는 완전히 정합이 됨을 알 수 있다. 설계된 안테나의 방사패턴은 Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19에 나타내었다. Fig. 17은 안테나가 좌표축에 놓여진 상태를 보여주고 있으며 이 때 X-Y평면의  $E_{\theta}$  방사패턴을 나타낸다.

Fig. 18은 X-Z 평면의  $E_{\theta}$  방사패턴을, Fig. 19는 Y-Z 평면의  $E_{\theta}$  방사패턴을 나타낸다. 이들 방사패턴으로부터 설계된 안테나는 대체적으로 등방성 패턴을 가지고 이때 이득은 3dBi정도 얻을 수 있음을 보인다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 2.4GHz 대역의 근거리 무선 통신 시스템에 사용할 수 있는 역-F형 안테나의 파라미터 값들에 대한 안테나 특성을 분석하였으며 분석된 시뮬레이션 값들을 이용하여 최적의 안테나를 설계하는 기법을 제안하였다. 최적으로 정합된 안테나를 설계함으로써 VSWR이 1.5이하이면서 설계 주파수 2.4GHz에서 주파수 대역폭이 6.3% (150MHz)를 나타내었다.

본 논문에서는 저전력 시스템에 적합하며 충분한 이득 (3dBi)을 갖는 안테나를 구현하였으며 단말기 접지면에 실장하는 형태로 안테나를 구현함으로써 전체 시스템의 비용을 감소시키고 시스템의 크기를 줄일 수 있는 방안이 제시되었다. 설계된 안테나는 적은 전력을 필요로 하는 무선 송수신 성능을 얻을 수 있으므로 블루투스 시스템이 장착된 ISM 대역 단말기등에 폭 넓게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Ali, M. and Gerard, J. H. (2000), "Analysis of Integrated Inverted-F Antennas for Bluetooth Applications", Ericsson Inc,
- [2] Ali, M. Sadler, R. A. and Hayes, G. J. (2002), "A Uniquely Packaged Internal Inverted-F Antenna for Bluetooth or Wireless LAN Application", IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters. vol. 1. No. 1, pp.5-7.
- [3] Arfwedson, Sneddon, (1999), "Ericsson's Bluetooth Modules", Ericsson Review No. 4, pp.198-205.
- [4] Balanis, A. (1997), *Antenna Theory- Analysis and Design*, 2nd John Wiley. & son. Inc,
- [5] Harsten, J. C. (Feb. 2000), "The Bluetooth Radio System" IEEE Personal Communications, pp.28-36.
- [6] Specification of the Bluetooth System, Version 1.1, (February, 2001).
- [7] Soras, C. Karaboikis, M. Tsachtsiris, G. and Makios, V. (Feb. 2002), "Analysis and Design of an Inverted-F Antenna Printed on a PCMCIA Card for the 2.4GHz ISM Band", IEEE Antenna's and Propagation Magazine, vol. 44. No. 1, pp.37-43.

---

원고접수일 : 2003년 6월 16일  
 원고채택일 : 2004년 1월 27일