

## 2.4GHz 근거리 무선 통신용 역-F형 내부 안테나 설계에 관한 연구

주성남<sup>\*</sup> · 박정룡<sup>\*</sup> · 손달윤<sup>\*</sup> · 김장식<sup>\*</sup> · 김영남<sup>\*</sup> · 김갑기<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>목포해양대학교

A study on the design of an Inverted-F Internal Antenna for the 2.4GHz local wireless communication system

Seng-nam Ju<sup>\*</sup> · Chong-lyong Pag<sup>\*</sup> · Dal-yoon Son<sup>\*</sup> · Jang-Sig Kim<sup>\*</sup> · Young-nam Kim<sup>\*</sup> · Kab-ki Kim<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Mokpo Maritime University

E-mail : microkim@mail.mmu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 2.4GHz 대역의 근거리 무선 통신에 사용되는 역-F형 내부 안테나의 설계 값에 따른 안테나 특성을 분석하였다. PCB 기판에 인쇄된 형태로 설계하여 안테나의 길이, 단락 스텔브의 두께, 피드선과 단락 스텔브 사이의 간격, 안테나와 그라운드 사이의 간격, 안테나의 두께 및 기판의 두께와 기판의 유전율에 따른 특성 변화를 연구하였다. 설계값에 따른 특성변화 그래프로부터 설계 값을 튜닝하여 최적의 안테나를 설계하는 방법을 보였다. 설계된 안테나는 VSWR이 1.5이하인 주파수 대역폭이 6.3%, 이득 3dB 정도를 얻었다.

### ABSTRACT

In this paper, the characteristics of an inverted-F antenna for the 2.4GHz local wireless communication 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 6.4% frequency bandwidth for VSWR under 1.5 and 3dB gain.

### 키워드

PDA: Personal Digital Assistance. ISM: Industrial Scientific and Medical. PCB: Printed Circuit Board

### 1. 서 론

최근 2.4GHz ISM 주파수 대역을 이용하는 근거리 무선 통신 시스템으로 블루투스 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되어지고 있다. 이는 데이터와 음성을 동시에 이동 환경에서 주고받을 수 있어야 하며, 적은 비용으로 구현이 가능하여야 한다. 블루투스 시스템은 비교적 좁은 대역(3.5%)에서 응용이 가능하며 100mW이내의 적은 전력을 사용한다. 이런 시스템에 장착되는 안테나는 적은 비용으로 이동 환경의 시스템에 사용되므로 내부에 장착되는 형태나 또는 PCB 그라운

드 평면에 인쇄된 형태로 구성되고 있다. 역-F형 안테나는 내부에 장착이 가능하며 특히 그림 2-1과 같이 PDA등의 단말기 기판상의 그라운드 평면에 인쇄된 형태로 구현하면 비용 및 차지하는 공간을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 기판상의 인덕티브 튜닝 스텔브를 이용하여 안테나의 정합이 용이하게 된다. 또한 보드의 그라운드 평면을 이용함으로써 대역폭 및 이득을 보다 개선할 수 있게 된다.

본 연구에서는 우선 기존의 안테나에 대한 분석을 위해 FEM (Finite Element Method)방식을 사용하는 필드해석 프로그램인 HFSS을 이용하여 PDA등의 그라운드 평면에 내장될 수 있는 역-F형 안테나의 특성에 대해 해석하고 이를 개선하는 방안에 대하여 연구하였다.

## II. 역-F형 안테나 구조 및 특성 분석

### II-1. 역-F형 안테나 구조의 해석 모델링

역-F형 안테나는 모노폴 안테나의 변형된 형태이며 구조는 안테나 다리 부분과 그라운드 평면이 평행하게 포개져 있다. 안테나 다리와 그라운드 사이의 간격을 조정하여 입력 임피던스의 리액턴스 성분을 조정할 수 있으며 단락 스테브를 이용하여 이 값을 보상할 수 있다. 그러므로 역-F형 안테나에서는 안테나 다리와 그라운드 사이의 간격, 단락 스테브의 간격 등이 정합을 하는데 중요한 변수가 된다. 마이크로스트립 패치 안테나는 폭(W)의 길이 변동에 따라서 L, C가 변동하여 임피던스에 영향을 주며, 길이(L)의 변동으로 공진 주파수에 영향을 받게 된다. 기판의 두께를(h)라 하고 기판의 유전율을 ( $\epsilon_r$ ) 이라 하며 실효 비유전율을 ( $\epsilon_e$ )라고 가정하고 공진 주파수를  $f_r$  이라고 했을 때 안테나의 폭과 길이는 다음의 식으로부터 구해될 수 있다.

$$W = \frac{c}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2}$$

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 0.824h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

일반적으로 패치 안테나는 협대역 특성을 가지고 있는데 이러한 특성 때문에 패치의 길이(L)은 원하는 공진 특성을 얻기 위해서 고려해야 될 중요한 요소이다. 일반적으로 안테나의 다리의 길이는 동작주파수  $\lambda$ 의 1/4파장으로 한다.

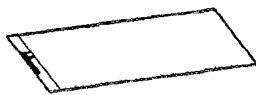


그림 2-1. 역-F형 안테나의 HFSS 해석 모델

그림 2-1은 전자기장 해석 시뮬레이션 프로그램 HFSS(High Frequency Structure Simulation)를 이용한 역-F형 안테나의 해석 모델을 보여준다.

### II-2. 설계 파라미터에 따른 특성 분석

역-F형 안테나 설계할 때 안테나 파라미터 값은 여러 안테나 디멘전 값의 변화에 의해 최적화할 수 있다. 이중 PCB 기판상에 프린트 된 형태에서 변화할 수 있는 값은 안테나 다리의 길이 l 과 두께 w2, 단락 스테브의 두께 w1, 피드 라인 과 단락 스테브 사이의 간격 s, 안테나 다리와 그라운드 평면 사이의 간격 h, 그리고 PCB의 두께와 PCB 기판의 유전율 등이 있다

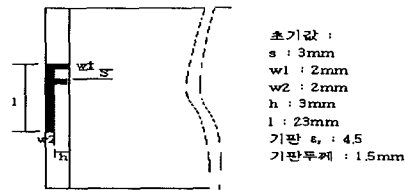


그림 2-2. PCB기판에 인쇄된 역-F형 안테나의 설계 파라미터

위의 그림 2-2에 초기의 안테나 설계 값이 나타내어져 있으며 적용되는 각각의 안테나 파라미터의 변화를 분석하였다.

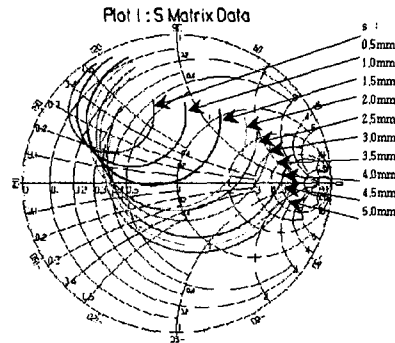


그림 2-3. 피드선과 단락 스테브 사이의 간격 S의 변화에 따른 반사계수 변화

그림 2-3은 안테나의 설계 파라미터 중 단락 스테브와 피드선 사이의 간격 s를 0.5~4.5mm로 변화시키고 주파수를 2~2.9GHz 스윕 했을 때 반사계수에 대하여 스미스 도표상에 보여주고 있다. 그림 2-3에서 보는 것과 같이 피드선과 단락 스테브 사이의 간격 s는 반사계수에 민감하게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 즉 s의 변동은 입력 임피던스의 실수부와 허수부를 변화시키며 특히 허수부의 변화로부터 공진 주파수가 점차로 낮아진다는 것을 그림 2-4로부터 확인할 수 있다.

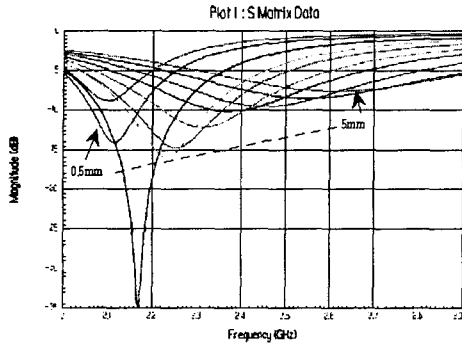


그림 2-4. 간격 s에 따른 S11 변화

안테나 다리와 그라운드 평면 사이의 간격  $h$ 를 3.25mm에서 5.5mm까지 변화시킨 경우 입력 반사계수의 리액턴스 값이 인덕티브 쪽으로 이동해 감을 그림 2-5가 보여준다. 즉 안테나와 그라운드의 간격이 멀어짐으로서 캐패시티브 성분이 작아 지는데 이로부터  $h$ 의 값은 안테나의 입력 임피던스 정합에 중요한 변수가 됨을 알게 되었다.

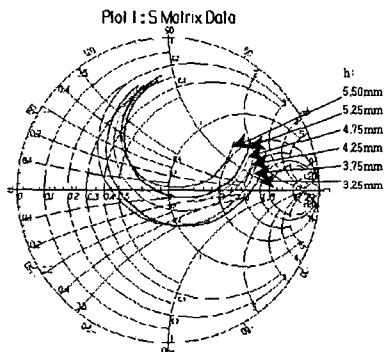


그림 2-5. 간격 h 변화에 따른 S11 변화

또한 안테나 다리의 길이  $l$ 값의 변화에 대해서는 거의 공진 주파수에 만 영향을 줌을 그림 2-6의 그래프에서 보여준다.

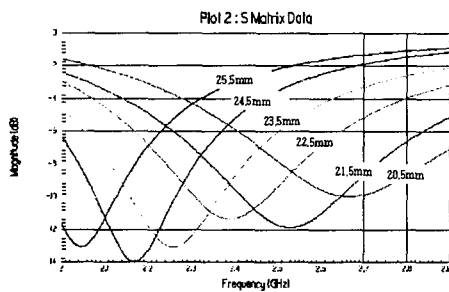


그림 2-6. 안테나 다리의 길이 l의 변화에 따른 S11 변화

안테나 설계 파라미터 중에서 기판의 두께를 조정하여 안테나의 공진 주파수를 변화시킬 수 있으며 또한 기판의 유전율 변화에 따라서 S11의 값도 변화되는데 유전율이 높을수록 공진 주파수는 낮아진다. 그러므로 기판의 두께와 유전율을 적절히 조절하여 안테나의 크기를 줄일 수 있다.

### III. 안테나 튜닝에 의한 최적화

안테나 설계 파라미터들에 대한 안테나 파라미터 특성의 적절히 이용하여 최적화된 역-F형 안테나를 설계할 수 있다. 설계 파라미터 중 입력 임피던스를 크게 변화시키는 변수는 피드라인과 단락 스텐브의 간격, 안테나 다리와 그라운드 면 사이의 간격, 안테나 다리의 두께 순서임을 알 수 있다. 또한 안테나 다리의 길이나 기판의 두께 그리고 기판의 유전율은 공진 주파수를 변화시킨다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 역-F형 안테나 설계 시 원하는 주파수 대역에서 정합이 완전히 되는 설계 값들을 찾는데 이들 변수들의 특성을 이용하면 최적화 된 안테나를 구현할 수 있다.

튜닝 방법에 의해 최적화 된 역-F 안테나의 최종 설계 값들이 그림 3-1에 보인다. 임피던스 정합에 중요한 변수 중에 하나인  $h$ 의 값을 늘려 정합이 용이하도록 하기 위하여 그라운드 평면에 그림과 같이 홈을 파서 간격을 넓게 하였다.

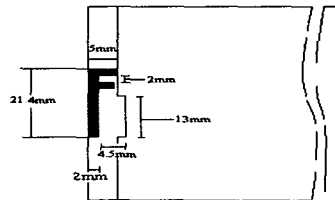


그림 3-1. 설계된 역-F형 안테나 디멘전

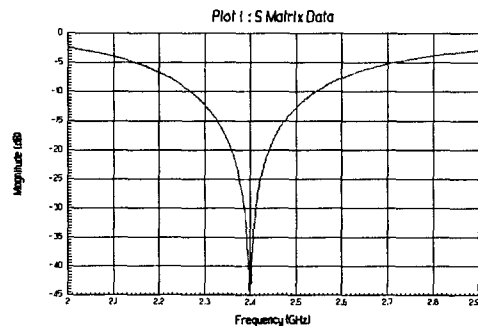


그림 3-2. 설계된 안테나의 주파수에 따른 S11

최적화 된 안테나의 S11값을 그림 3-2에서 보여주고 있다. 이로부터 S11이 -15dB 이하가 되는 주파수 대역폭은 6.3% 정도가 됨을 알 수 있으며, 2.4GHz에서는 완전히 정합이 됨을 알 수 있다.

설계된 안테나의 복사 패턴은 그림 3-3, 3-4, 3-5에 나타내었다. 그림 3-3은 안테나가 좌표축에 놓여진 상태를 보여주고 있으며 이때 X-Y평면의 복사 패턴을 나타낸다.

그림 3-4는 X-Z 평면의 복사 패턴을, 그림 3-5는 Y-Z 평면의 복사 패턴을 나타낸다.

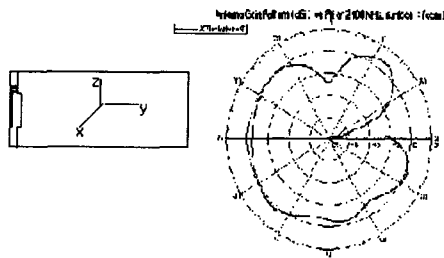


그림 3-3. 설계된 역-F 안테나의 복사 패턴(X-Y 평면)

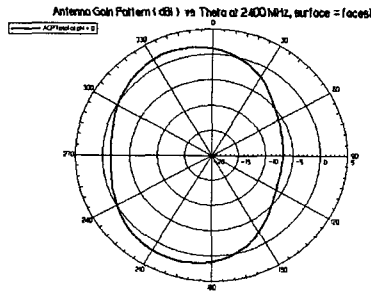


그림 3-4. 설계된 역-F 안테나의 복사 패턴(X-Z 평면)

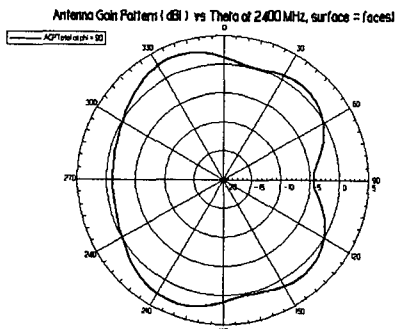


그림 3-5 설계된 안테나의 복사 패턴(Y-Z) 평면

이들 복사 패턴으로부터 이 안테나는 대체적으

로 등방성의 패턴을 가지며 이득은 3dB정도 얻을 수 있음을 보인다.

#### IV. 결 론

본 연구를 통하여 2.4GHz 대역의 근거리 무선 통신 시스템에 사용할 수 있는 역-F형 내장 안테나의 설계 값들에 대한 안테나 특성을 분석하였으며 분석된 변수들의 특성을 이용하여 최적의 안테나를 설계하였다. 최적으로 정합하여 설계된 안테나는 VSWR이 1.5 이하이면서 설계 주파수 2.4GHz에서 주파수 대역폭이 6.3%를 나타내는 150MHz를 갖는다. 또한 설계된 안테나는 저전력 시스템에 적합하며 충분한 이득(3dB)을 갖는 안테나로서 단말기 그라운드 기판에 실장 하는 형태로 안테나를 구현하게 되면 전체 시스템의 비용을 감소시키고 시스템의 크기를 줄일 수 있다.

설계된 안테나는 블루투스 시스템에서 사용되는 것과 같이 비교적 좁은 대역(3.5%)을 사용하는 시스템에 응용이 가능하며 100mW 이내의 적은 전력을 필요로 하기 때문에 우수한 무선 송수신 성능을 얻을 수 있으므로 근거리 무선 통신용 및 2.4GHz의 ISM 주파수 대역에서 사용되는 블루투스 시스템이 장착된 단말기 등에 폭넓게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] Haarsten, Jaap C. "The Bluetooth Radio System" IEEE Personal Communications, Feb. 2000.
- [2] M. Ali and Gerard J. H., "Analysis of Integrated Inverted-F Antennas for Bluetooth Applications", Ericsson Inc.
- [3] Marshall Wang, "Design Consideration for Low Cost Bluetooth Transceiver/Modem", Bridging the Gap with Bluetooth, IEEE MTT Santa Clara Valley Chapter Workshop, April, 2001.
- [4] M. Ali, R. A. Sadler, and G. J. Hayes, "A Uniquely Packaged Internal Inverted-F Antenna for Bluetooth or Wireless LAN Application", IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters. vol. 1. No. 1, 2002.
- [5] Arfwedson, Sneddon, "Ericsson's Bluetooth Modules", Ericsson Review No. 4, 1999.
- [6] K. G. Schroeder, "Miniature Slotted - Cylinder Antennas", Microwaves, vol. 3, pp. 28-37, Dec. 1964