
2.4GHz 근거리 무선 통신용 역-F형 내부 안테나 설계

김영남 * · 정명래 * · 김갑기 *

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

Young-Nam Kim * · Myung-Lea Chung * · Kab-Ki Kim *

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 스텐브의 두께, 피드선과 단락 스텐브 사이의 간격, 안테나와 접지면 사이의 간격, 안테나의 두께 및 기판의 두께와 기판의 유전율에 따른 특성 변화를 연구하였다. 설계값에 따른 특성변화 그래프로부터 설계값을 튜닝하여 최적의 안테나를 설계하였다. 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 ISM 주파수 대역을 효율적으로 이용하기 위해서 근거리 무선 통신 시스템에 적용할 수 있는 다양한 안테나에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 근거리 무선 통신 시스템은 비교적 좁은 대역(3.5%)에서 응용이 가능하며 100 mW이 내의 적은 전력을 사용하기 때문에 여러 종류의 안테나들이 선보이고 있다. 최근 우리나라에서는 FR4 기판상에 인쇄하여 적용하는 칩 형 안테나와

PCB 기판상에 직접 인쇄하는 형태의 안테나가 주를 이루고 있다. 특히 직접 인쇄하는 형태의 안테나 중에서도 역 F-형 안테나는 PDA 등의 단말기 기판상의 접지면에 인쇄된 형태로 구현하면 비용을 절감할 수 있으며, 대표적 평면 안테나로서 한쪽을 단락시켜 물리적 크기를 소형으로 구현하여 단말기내부에 장착이 가능하기 때문에 휴대의 편리성을 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 기판상의 인덕티브 튜닝 스텐브를 이용하여 안테나의 정합이 용이하며, 기판의 접지면을 이용함으로써 대

* 목포해양대학교 해양전자통신공학부
접수일자 : 2003. 8. 5

역폭 및 이득을 보다 개선할 수 있게된다.
 본 연구에서는 안테나에 대한 성능분석을 위해 FEM (Finite Element Method)방식을 사용하는 필드 해석 프로그램인 HFSS(High Frequency Structure Simulation)을 이용하여 PDA등의 접지면에 내장될 수 있는 역-F형 안테나를 설계하기 위하여 파라미터들의 특성변화를 해석하고 이를 적용하여 최적화된 안테나의 특성에 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 접지면이 평행하게 포개져 있다. 안테나 다리와 접지면 사이의 간격을 조정하여 입력 임피던스의 리액턴스 성분을 조정할 수 있으며 단락 스테르브를 이용하여 이 값을 보상할 수 있다. 그러므로 역-F형 안테나에서는 안테나 다리와 접지면 사이의 간격과 단락 스테르브의 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 (ϵ_r) 이라 하며 실효 비유전율을 (ϵ_e)라고 가정하고 공진 주파수를 f_r 이라고 했을 때 안테나의 폭과 길이는 다음의 식으로부터 구해질 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)는 원하는 공진 특성을 얻기 위해서 고려해야 될 중요한 요소이다. 일반적으로 안테나의 다리의 길이는 동작주파수 λ 의 1/4파장으로 한다.

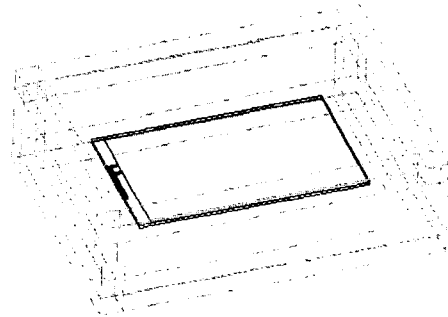


그림 2-1. 역-F형 안테나의 HFSS 해석 모델
 Fig 2-1. The HFSS analysis model of inverted-F type antenna

그림 2-1은 전자기장 해석 시뮬레이션 프로그램인 HFSS를 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. 이 중 PCB 기판상에 프린트 된 상태에서 변화할 수 있는 값은 안테나 다리의 길이 l 과 두께 w2, 단락 스테르브의 두께 w1, 피드 라인과 단락 스테르브 사이의 간격 s, 안테나 다리와 접지면 사이의 간격 h, 그리고 PCB의 두께와 PCB 기판의 유전율 등이 있다.

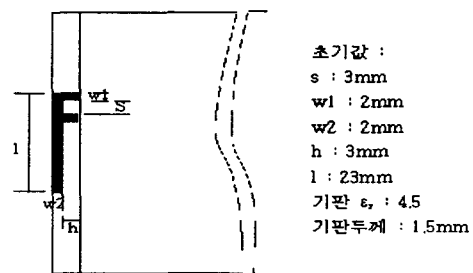


그림 2-5. PCB기판에 인쇄된 역-F형 안테나 설계 파라미터

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

위의 그림 2-2에 초기의 안테나 설계 값이 나타나어져 있으며 적용되는 각각의 안테나 파라미터

터의 변화를 분석하였다.

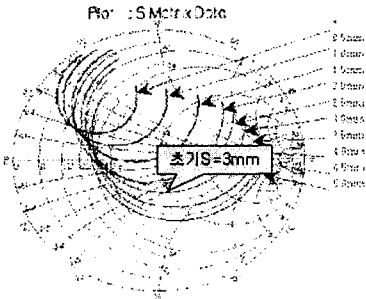


그림 2-6. S의 간격 변화에 따른 반사계수의 변화
Fig 2-3. The variation of reflection coefficients in terms S

그림 2-3은 안테나의 설계 파라미터 중 단락 스테르브와 피드선 사이의 간격 s 를 0.5~4.5mm로 변화시키고 주파수를 2~2.9 GHz 스윕 했을 때 반사계수에 대하여 스미스 도표상에 보여주고 있다. 그림2-3에서 보는 것과 같이 피드선과 단락 스테르브 사이의 간격 s 는 반사계수에 민감하게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 즉 s 의 변동은 입력 임피던스의 실수부와 허수부를 변화시키며 특히 허수부의 변화로부터 공진 주파수가 점차로 낮아진다는 것을 그림 2-4로부터 확인할 수 있다.

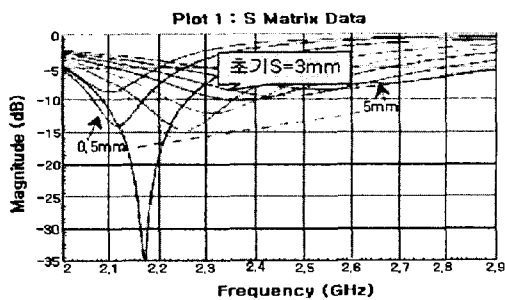


그림 2-7. S의 변화에 따른 S11 변화
Fig 2-4. The variation of S11 in terms of S

안테나 다리와 접지면 사이의 간격 h 를 3.25 mm에서 5.5mm까지 변화시킨 경우 입력 반사계수의 리액턴스 값이 인덕티브 쪽으로 이동해 감을 그림 2-5가 보여준다. 즉 안테나와 접지면의 간격

이 멀어짐으로서 캐패시브 성분이 작아지는데 이로부터 h 의 값은 안테나의 입력 임피던스 정합에 중요한 변수가 됨을 알게 되었다.

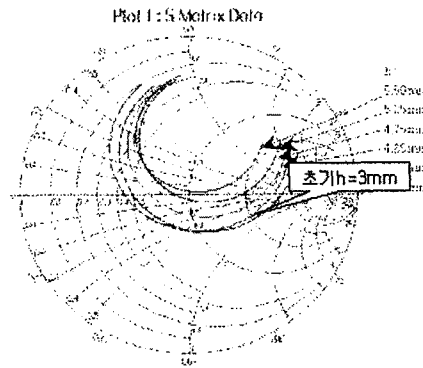


그림 2-8. H의 변화에 따른 S11 변화
Fig 2-5. The variation of reflection coefficients in terms of H

또한 안테나 다리의 길이 l 값을 20.5mm ~ 25.5mm로 변화시키고 S11의 변화 특성을 살펴본 결과 공진 주파수에 만 영향을 줌을 그림 2-6의 그래프에서 보여준다.

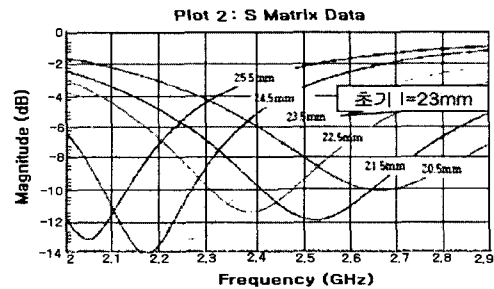


그림 2-9. L값의 변화에 따른 S11 변화
Fig 2-6. The variation of S11 in terms of L

안테나 설계 파라미터 중에서 기판의 두께를 조정하여 안테나의 공진 주파수를 변화시킬 수 있음을 그림 2-7이 보여준다. 기판의 두께를 0.6mm ~ 1.8mm로 변화시키면 기판 두께가 두꺼워질수록 공진 주파수가 낮아짐을 알 수 있었다.

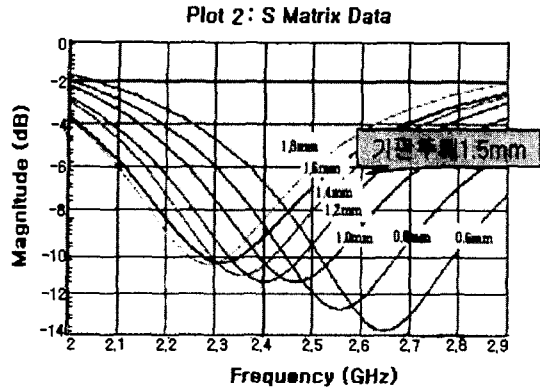


그림 2-10. 기판의 두께에 따른 S11 변화
Fig 2-7. The variation of S11 in terms of the substrate's height

또한 기판의 유전율을 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 접지면 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 최적화된 안테나를 구현할 수 있다.

튜닝에 의해 최적화된 역-F 안테나의 최종설계 값들이 그림 3-1에 보인다. 임피던스 정합에 중요한 변수 중에 하나인 h의 값을 늘려 정합이 용이하도록 하기 위하여 접지면에 그림과 같이 홈을 파서 간격을 넓게 하였다.

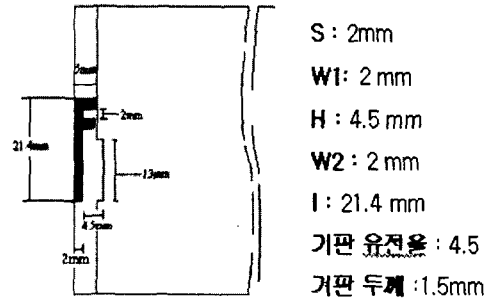


그림 3-1. 최적화된 역 F-형 안테나 디멘전
Fig 3-2. The designed inverted-F antenna and dimension.

최적화된 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.

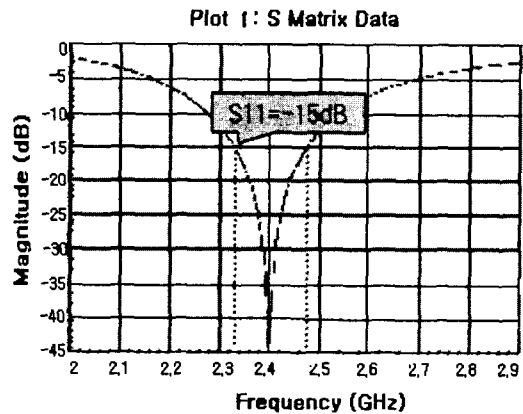


그림 3-2. 최적화된 안테나의 S11
Fig 3-2. The S11 of designed inverted-F antenna

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

그림 3-4에서 (a)는 X-Z 평면의 방사 패턴을, (b)는 Y-Z 평면의 방사 패턴을 보여주고 있다.

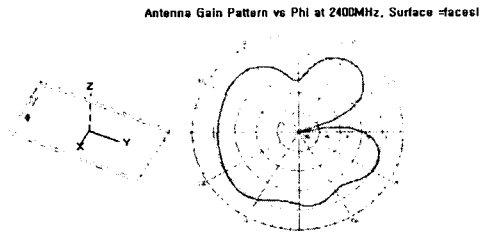


그림 3-3 안테나 방사패턴 (X-Y평면)
Fig 3-3. The radiation pattern of designed inverted-F antenna (X-Y plane)

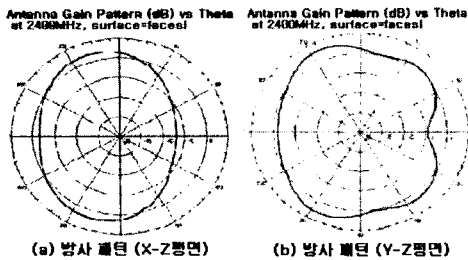


그림 3-4. 설계된 안테나 방사 패턴
Fig 3-4. The radiation pattern of designed inverted -F antenna
(a).X-Z plane (b).Y-Z plane

이들 복사 패턴으로부터 이 안테나는 대체적으로 등방성의 패턴을 가지며 이득은 3dB정도 얻을 수 있음을 보인다.

IV. 결론

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 1.5이하이면서 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 접지면에 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.

[참고 문헌]

- [1] Haarsten, Jaap C. "The Bluetooth Radio System" IEEE Personal Communications, Feb. 2000. pp.28-36
- [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. pp.5-7
- [5] Arfwedson, Sneddon, "Ericsson's Bluetooth Modules", Ericsson Review No. 4, 1999. pp.198-205
- [6] K. G. Schroeder, "Miniature Slotted-Cylinder Antennas", Microwaves, vol. 3. Dec. 1964 pp. 28-37

저자 소개



김갑기 (Kab-Ki Kim)

1981년 광운대학교 통신공학사
1984년 건국대학교 전자공학석사
1998년 건국대학교 전자공학박사
2001~2002년 뉴욕시립대학 전자 공

공학과 연구교수

2003년 현재 목포해양대학교 해양·전자통신공학부
교수

※ 관심분야 : 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계



정명래 (Myung-Lea Chung)

1964년 한국항공대학 통신공학사
1978년 건국대학교 통신행정석사
1992년 한국항공대학교 정보통신
공학석사

2000년 한국항공대학교 전자공학박사

2003년 현재 목포해양대학교 해양·전자통신공학부
교수

※ 관심분야 : 전자파 이론, EMI/EMC



김영남 (Young-Nam Kim)

2000년 목포해양대학교 전자통신
공학사

2003년 목포해양대학교 전자통신
과박사과정

2002년 광주MBC 기술운영부국장

2003년 현재 광주MBC 기술운영부국장

2000년 한국방송대상 TV 기술상 수상

※ 관심분야 : 마이크로파 통신, 방송기술