

스퍼 라인을 이용한 이중 주파수 역 F형 안테나의 설계

Design of Dual Frequency Inverted-F Antenna with Spur Line

허 문 만 · 윤 현 보

Moon-Man Hur · Hyun-Bo Yoon

요 약

역 F형 안테나의 구조와 스퍼 라인 길이에 의해서, 두개의 동작 주파수를 쉽게 결정할 수 있는 이중 주파수 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 cellular 주파수대역에서 동작하는 역 F형 안테나에 PCS 주파수대역에서 동작하는 스퍼 라인을 부하로 이용함으로써 이중 주파수 동작 특성을 갖도록 하였다. 안테나의 설계는 모멘트법을 기본 이론으로 하는 IE3D 상용 프로그램을 사용하였으며, 실제 제작하여 안테나의 반사 손실, 입력 임피던스, 복사패턴, 이득을 측정하였다. 설계된 안테나는 전체 크기가 40 mm×14 mm×9.4 mm로써 단말기 내장용 안테나로 사용이 가능하며, 국내 cellular 및 PCS에 적용이 가능한 안테나 특성을 나타내고 있다.

Abstract

In this paper, we design the dual frequency antenna that could easily determine two operation frequencies by its inverted-F antenna structure and spur line length. The spur line is applied to the inverted-F antenna, in order to dual operation characteristics in PCS and cellular frequencies. It has designed by using the IE3D commercial software based on the moment method. As the designed antenna is fabricated and measured, you can see the results such as the return loss, the input impedance, the radiation patterns, and the gain. The size of this antenna is 40 mm×14 mm×9.4 mm, it is compact enough to use as an antenna. Also, This antenna can be used with cellular and PCS phone of domestic market.

Key words : Dual Frequency, Inverted-F, Spur Line, Antenna, Intenna

I. 서 론

일반적으로 이중 주파수 안테나는 두 가지 방식으로 구현된다. 하나는 각각 서로 다른 동작 주파수를 갖는 두 개의 복사체를 단일 또는 이중으로 급전하는 것이고^{[1],[2]}, 다른 하나는 보통의 단일 주파수 안테나에 슬롯이나 스퍼 라인과 같은 다른 주파수에서 동작하는 부하를 포함시킴으로써 이중 주파수 동작 특성을 갖도록 하는 것이다^{[3],[4]}.

본 논문에서는 하나의 동작 주파수를 결정하는 기본 복사체로써 cellular 주파수 대역(824~894

MHz)에서 동작하는 역 F형 안테나를 사용하고, 다른 동작 주파수를 결정하는 부하로써 PCS 주파수 대역(1750~1870 MHz)에서 동작하는 스퍼 라인을 적용하여 이중 주파수 안테나를 설계하였다.

본 논문에서 설계한 스퍼 라인을 이용한 이중 주파수 역 F형 안테나는 다른 추가적인 정합회로 없이도 임피던스 정합이 쉽고, 수직과 수평 편파를 갖기 때문에 교차 편파 결합이 비교적 큰 도시지역에서 평균수신 전력이 향상되며, 구조적으로 견고하다. 그리고 무엇보다도 낮은 주파수 대역에서도 작은 크기로 설계가 가능하기 때문에 단말기 내장용

동국대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Dongguk University)

· 논문 번호 : 20020328-042

· 수정완료일자 : 2002년 7월 8일

안테나(antenna)로 적합하다는 역 F형 안테나 구조의 장점^[5]과 더불어, 이중 주파수 동작을 하기 위해 스퍼 라인을 적용해도 안테나 전체 크기가 변하지 않으며, 스퍼 라인의 길이에 의해 비교적 쉽게 동작 주파수를 결정할 수 있다는 장점을 가지고 있다^[6].

설계된 이중 주파수 역 F형 안테나는 현재 국내에서 사용중인 cellular 및 PCS 주파수 대역에 맞게 설계되었으며, 단말기 내에 삽입될 것을 고려하여 크기를 최소화 하고자 노력하였다. 안테나의 설계는 모멘트법(moment method)을 기본 이론으로 하는 Zeland Software Inc.의 IE3D 상용 프로그램을 사용하였다.

설계된 스퍼 라인을 이용한 이중 주파수 역 F형 안테나는 실제 제작하여 반사 손실, 입력 임피던스, 복사패턴, 이득을 측정하였다.

II. 단일 주파수 역 F형 안테나의 설계

이중 주파수 안테나를 설계하기 위해서, 먼저 cellular 주파수 대역의 단일 주파수 역 F형 안테나를 설계하였다.

그림 1에 나타난 기본적인 역 F형 안테나의 구조에서 복사판의 길이와 폭에 따른 안테나 특성을 모멘트법을 기본 이론으로 하는 IE3D 상용 프로그램을 이용하여 계산하였다.

그림 1에서 역 F형 안테나는 실제 제작을 고려하여 비유전율이 2.3이고 높이가 3.2 mm인 두 유전체 사이에 높이가 3.0 mm의 공기층을 삽입한 다층기판 구조로 하였다. 공기층을 삽입한 이유는 역 F형 안테나의 대역폭, 즉 cellular 주파수 대역을 증가시키기 위한 것으로서 그 높이는 최종 설계된 안테나

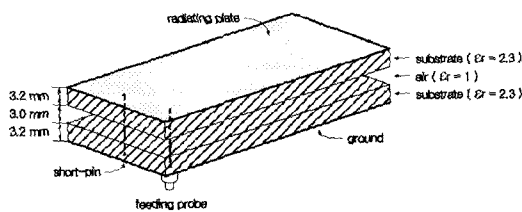


그림 1. 단일 주파수 역 F형 안테나의 초기 구조
Fig. 1. The initial structure of the single frequency inverted-F antenna.

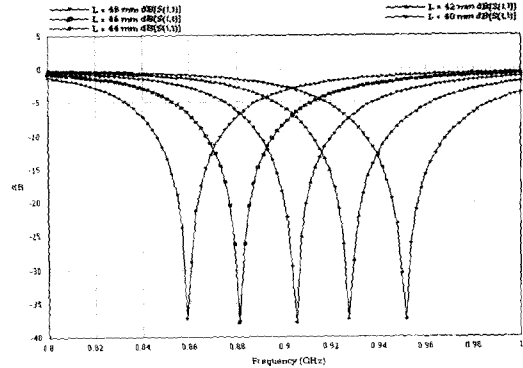


그림 2. 복사판 길이에 대한 동작 주파수의 변화
Fig. 2. The variation of operating frequency versus radiating plate length.

가 단말기 내에 삽입될 수 있는 범위 내에서 최대화하였다.

그림 1과 같은 초기 구조로부터 복사판의 길이와 폭을 변화시켜 가며 cellular 주파수 대역의 역 F형 안테나를 설계하였다. 이때 복사판의 폭은 우선 임의로 14 mm로 하였으며, 이 폭은 복사판의 길이를 결정한 다음, 복사판 폭에 대한 안테나의 특성을 계산함으로써 최적화 된 값을 다시 구하게 된다. 그림 2는 복사판의 길이에 대한 단일 주파수 역 F형 안테나의 주파수 특성을 계산한 결과이다.

그림 2로부터 역 F형 안테나가 cellular 주파수 대역에서 동작하기 위해서는 복사판의 길이가 약 48 mm이어야 한다. 그러나 나중에 이중 주파수 특성을 갖기 위해서 복사판에 스퍼 라인을 적용하게 되면 역 F형 안테나의 동작 주파수는 낮은 쪽으로 이동하게 되므로 이러한 특성을 고려하여 cellular 주파수 대역의 역 F형 안테나 기준 주파수를 약 900 MHz로 하였으며, 이때 복사판의 길이는 44 mm가 된다.

그리고 복사판의 폭에 대한 역 F형 안테나의 주파수 특성을 알기 위해서 복사판의 길이를 44 mm로 하고 폭을 변화하면서 안테나의 반사 손실을 계산하여 그림 3에 나타내었다.

그림 3에 나타난 것처럼 역 F형 안테나 복사판의 폭은 안테나의 동작 주파수뿐만 아니라 안테나의 임피던스까지 영향을 주기 때문에 폭이 변함에 따라서 동작 주파수와 반사 손실이 함께 변화하는 것을 알 수 있다. 그러므로 나중에 스퍼 라인의 적용

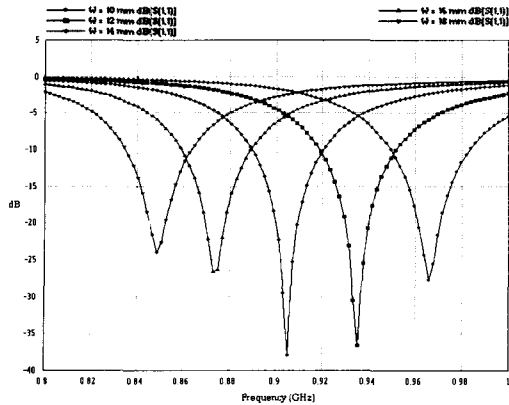


그림 3. 복사판의 폭에 대한 반사 손실의 변화
Fig. 3. The variation of return loss versus radiating plate width.

을 고려하여 약 900 MHz의 동작 주파수를 갖는 안테나의 반사 손실은 복사판의 길이를 44 mm로 하고 폭을 14 mm로 하였을 때, 가장 좋은 약 -37 dB를 나타내었다.

Ⅲ. 이중 주파수 역 F형 안테나의 설계

3-1 스퍼 라인의 적용과 그 영향

Cellular 주파수 대역의 역 F형 안테나에 스퍼 라인을 적용한 경우에 대한 안테나의 이중 주파수 특성을 살펴보기 위해서, 그림 4와 같은 구조의 안테나를 기준으로 스퍼 라인의 길이를 변화하며 반사 손실을 계산하였다. 그림 4의 역 F형 안테나의 구조는 제 II장에서 설계한 900 MHz 대 단일 주파수

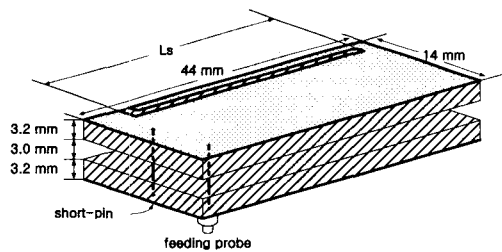


그림 4. 스퍼 라인을 이용한 역 F형 안테나의 초기 구조
Fig. 4. The initial structure of the inverted-F antenna with spur line.

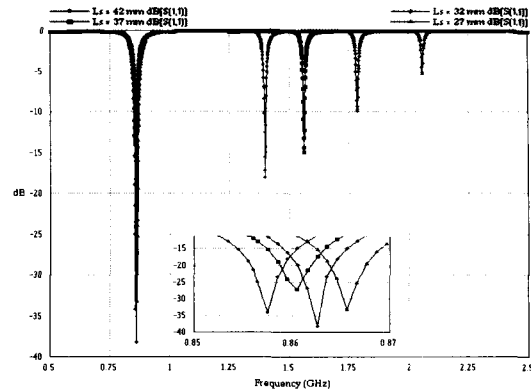


그림 5. 스퍼 라인의 길이에 대한 반사 손실의 변화
Fig. 5. The variation of return loss versus spur line length.

안테나의 크기를 적용하였다.

제 II장에서 언급한 바와 같이, 그림 5로부터 역 F형 안테나는 스퍼 라인을 영향으로 동작 주파수는 약 900 MHz에서 약 860 MHz로 약 40 MHz 정도 낮아지는 것을 알 수 있으며, 반사 손실은 스퍼 라인의 길이에 따라 약 10 dB의 차이를 보이고 있다. 이 계산 결과로부터 부하로 작용하는 스퍼 라인이 PCS 주파수 대역에서 동작하기 위해서는 길이가 약 32 mm가 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

그러나 길이가 약 32 mm의 스퍼 라인을 그림 4와 같은 모양으로는 구성한다면, 그림 5의 결과에서 보듯이 PCS 주파수 대역의 반사 손실이 매우 나쁘게 된다. 그러므로 PCS 주파수 대역의 임피던스 정합을 위해서는 스퍼 라인의 모양 및 위치를 조정할 필요가 있다. 이러한 스퍼 라인의 모양과 위치는 PCS 주파수 대역뿐만 아니라, 역 F형 안테나의 구조에 의해 결정되는 cellular 주파수 대역의 임피던스에도 영향을 미치기 때문에 두 동작 주파수 대역

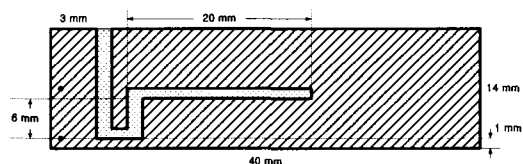


그림 6. 이중 주파수 역 F형 안테나의 구조
Fig. 6. The structure of the dual frequency inverted-F antenna.

에서 모두 최적화된 구조를 찾아야 한다. 그림 6은 반복적인 계산을 통해서 설계한 이중 주파수 역 F형 안테나의 구조이다.

이 구조에서 스퍼 라인의 폭은 모두 1 mm로 하였으며, 이때 구부러지는 모양의 영향으로 스퍼 라인의 전체 길이는 기본적인 구조에서의 32 mm 보다 약 8 mm 정도 증가하게 되었다. 그리고 역 F형 안테나의 복사체의 길이는 40 mm로써, 기본적인 스퍼 라인의 구조를 적용했을 때의 44 mm보다 4 mm 감소하였다. 이것은 앞에서 언급했듯이 스퍼 라인의 구조에 따라서 역 F형 안테나의 동작 주파수 및 임피던스가 동시에 변하기 때문이다.

그림 7은 그림 6의 구조를 갖는 이중 주파수 역 F형 안테나의 반사 손실의 계산 결과와 실제 제작하여 측정된 결과를 비교한 것이다.

설계된 이중 주파수 역 F형 안테나의 반사 손실은 cellular 주파수 대역의 경우 계산치가 880 MHz에서 -39.2 dB, 측정치가 848 MHz에서 -20.9 dB 이고, PCS 주파수 대역의 경우 계산치가 1828 MHz에서 -27.2 dB, 측정치가 1868 MHz에서 -23.6 dB로 중심 주파수와 반사 손실에서 약간의 차이를 보였다. 이것은 제작 과정에서 발생하는 오차로써, 특히 프로브 급전 및 단락핀의 위치가 계산된 구조와 정확하게 일치하지 못했기 때문에 안테나 입력 임피던스가 달라진 것으로 생각된다.

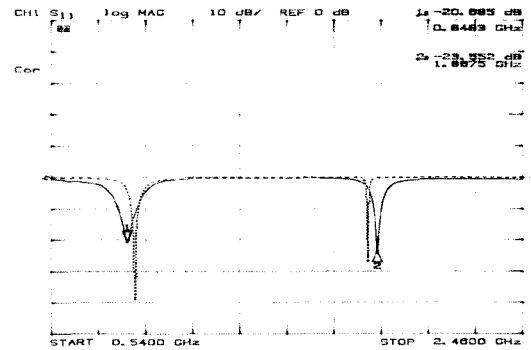
3-2 대역폭 개선을 위한 구조

그림 7의 측정 결과에 나타났듯이 3-1절에서 설계된 안테나를 제작하여 대역폭을 측정하면, cellular 주파수 대역은 약 80 MHz이고 PCS 주파수 대역의 경우 약 25 MHz가 나온다. 이것은 현재 사용중인 cellular 주파수 대역의 70 MHz는 만족하지만, PCS 주파수 대역의 120 MHz를 만족하기 위해서는 상당한 대역폭 증가가 필요하다.

스퍼 라인에 의해 결정되는 PCS 주파수 대역의 경우, 스퍼 라인의 길이는 동작 주파수를 결정하고 스퍼 라인의 모양 및 위치는 그 동작 주파수에서의 임피던스를 결정하는 변수로 작용할 뿐 대역폭에는 아무 영향을 미치지 않는다.

그러므로 본 논문에서는 급전 프로브와 평행하게

스퍼 라인을 이용한 이중 주파수 역 F형 안테나의 설계



(-- 계산치, — 실험치)

그림 7. 그림 6의 구조를 갖는 안테나 반사 손실의 계산치와 측정치

Fig. 7. The calculated and measured return loss of the Fig. 6 antenna.

차폐판(shielded plate)을 안테나의 옆면에 부착하는 방법을 적용하였다.

일반적으로 직접 프로브로 급전하는 안테나의 경우 프로브의 인덕턴스 성분이 대역폭을 제한하는 특성을 가지게 된다. 그러므로 이러한 차폐판은 안테나의 캐패시턴스를 증가시켜서 프로브가 갖는 인덕턴스 성분을 보상해 줌으로써 대역폭 증가의 효과를 얻을 수 있다^[7].

이때 역 F형 안테나의 접지판은 길이가 4 mm 줄어들었는데, 이것은 차폐판에 의한 캐피시턴스의 증가가 안테나의 임피던스를 변화시키기 때문에, 이러한 변화를 보상하기 위한 것으로 생각된다.

그림 8는 최종 설계된 이중 주파수 역 F형 안테나의 구조를 나타낸 것이다.

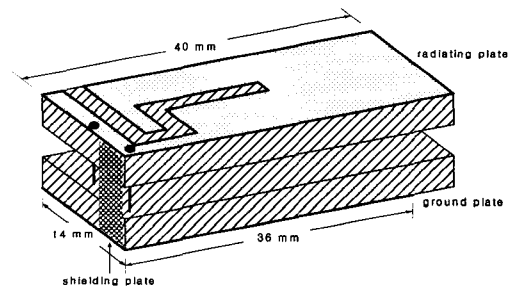


그림 8. 최종 설계된 이중 주파수 역 F형 안테나
Fig. 8. The final designed structure of the dual frequency inverted-F antenna.

IV. 안테나의 제작 및 실험

4-1 이중 주파수 역 F형 안테나의 제작

설계된 스퍼 라인을 이용한 이중 주파수 역 F형 안테나는 상부 복사판과 하부 접지판 사이에 단락편으로 연결된 구조로써, 일반적인 평면 구조의 안테나 제작 시 사용되는 광에칭 방법으로 기판의 양면을 각각 복사판과 접지판의 패턴을 에칭하고 단락편으로 연결함으로써 제작할 수 있다.

그러나 이러한 광에칭 방법은 반복적인 실험을 통한 최적화 과정을 시행하기 위해서는 공정 시간이 길어지게 되며, 비용 또한 증가하게 되는 단점이 있다.

그러므로 밀링머신을 이용하여 동판에 복사판과 접지판의 패턴을 깎고 공기층이 사이에 존재하는 다중기판에 복사판과 접지판의 패턴을 정확한 위치에 배열함으로써 설계된 구조의 안테나를 제작할 수 있다. 다중기판의 상하에 사용된 유전체는 TXL-9 teflon fiber glass로 비유전율이 2.3이고 높이가 3.2 mm인 것을 사용하였다. 또한 차폐판은 동판을 크기에 맞게 자른 후, 역 F형 안테나의 옆면에 부착하였다.

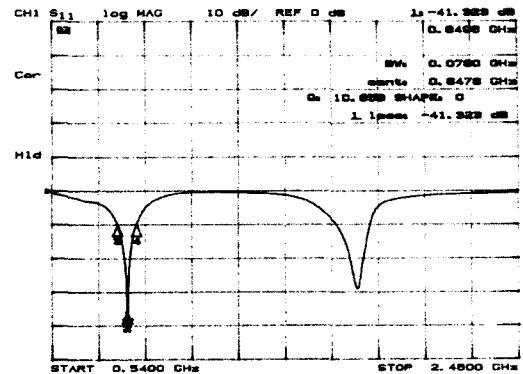
또한, 다중기판을 만들기 위해서 두 유전체 사이에 간격을 두고 볼트와 너트로 고정하였으며, 복사판과 접지판은 테이프로 유전체에 부착하는 방법을 사용하였다.

4-2 안테나의 특성 측정 및 결과 검토

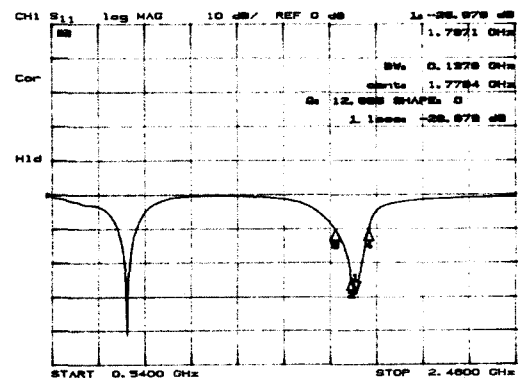
제작된 이중 주파수 역 F형 안테나의 반사 손실, 대역폭, 입력 임피던스를 HP 8722A network analyzer로 측정하여 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

측정 결과, 안테나의 반사 손실은 cellular 주파수 대역 849.6 MHz에서 -41.3 dB, PCS 주파수 대역 1797.1 MHz에서 -29.0 dB이 되었으며, 실제 국내에서 사용중인 cellular와 PCS 주파수와 약간의 차이를 나타내었다.

그리고 대역폭은 각각 78 MHz(9.18 %)와 138 MHz (7.68 %)로 측정되었으며, 이러한 특성은 실제 국내에서 사용되는 주파수 대역인 70 MHz(8.15 %)와 120 MHz(6.63 %)을 만족하는 것이다.



(a) Cellular 주파수 대역



(b) PCS 주파수 대역

그림 9. 제작된 안테나의 반사 손실

Fig. 9. The return loss of the fabricated antenna.

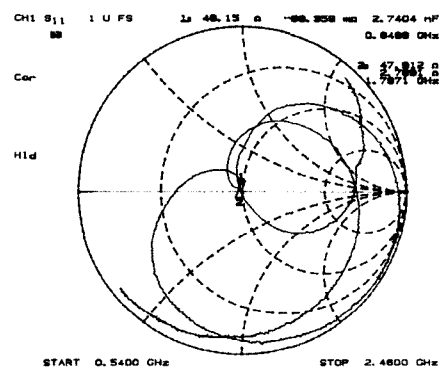
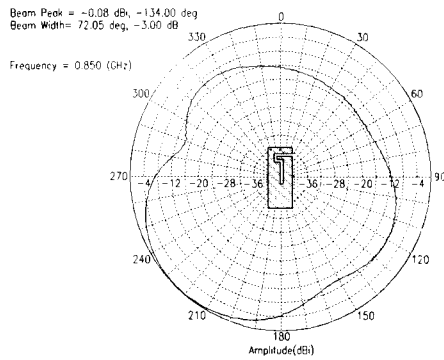


그림 10. 제작된 안테나의 입력 임피던스

Fig. 10. The input impedance of the fabricated antenna.

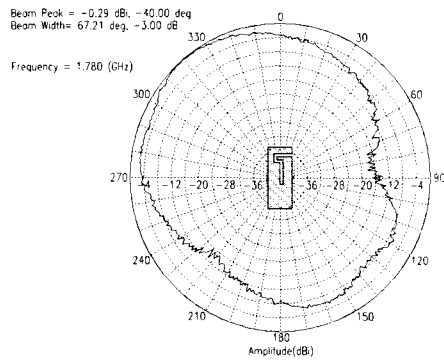
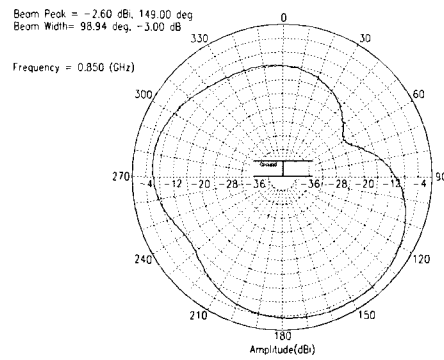
또한 안테나의 입력 임피던스는 cellular 주파수 대역에서 $49.150 - j 0.068 \Omega$ 이고 PCS 주파수 대역

스퍼 라인을 이용한 이중 주파수 역 F형 안테나의 설계



(a) Cellular 주파수대역(850 MHz)

(a) The cellular frequency(850 MHz).



(b) PCS 주파수대역(1780 MHz)

(b) The PCS frequency(1780 MHz).

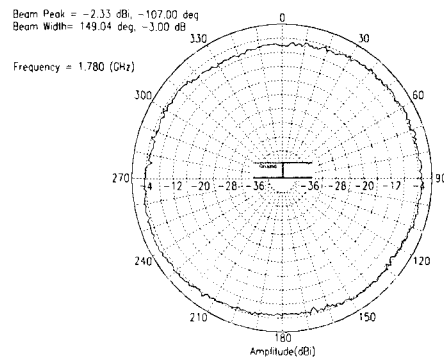


그림 11. 제작된 안테나의 복사 패턴

Fig. 11. The radiation pattern of the fabricated antenna.

47.912 + j 2.7891 Ω 으로 측정되었다. 안테나의 복사 패턴과 이득은 초고주파 대역의 compact range에서 실제 제작된 안테나의 반사 손실 결과를 바탕으로, cellular 주파수 대역내의 850 MHz와 PCS 주파수 대역내의 1780 MHz에서 각각 E 면 및 H 면에서의 동일 편파에 대해서 측정하였다. 그림 11에 나타난 복사패턴의 측정 결과로부터 cellular 주파수대역의 경우 안테나의 지향이득은 -0.08 dBi이고 -3 dB 빔폭은 약 72.05°로 측정되었으며, PCS 주파수 대역의 경우 지향이득은 -0.29 dBi이고 -3 dB 빔폭은 약 67.21°로 측정되었다. 설계된 안테나는 거의 등방성 안테나와 같은 0 dBi의 지향이득을 갖고 있으나, 현재 상용화된 antenna의 지향이득이 최대 2 dBi에서 최소 -0.5 dBi인 점을 고려하면, 대체로

좋은 복사특성을 보이고 있다. 또한 스퍼 라인의 적용에 의한 안테나의 비대칭적인 구조로 인해서 복사패턴 역시 비대칭적인 모습으로 지향 특성을 나타내고 있으며, 역 F형 안테나에 의해 결정되는 cellular 대역 복사 패턴의 null은 역 F형 안테나의 급전선로에 의해서 생기는 것으로 판단된다.

V. 결 론

스퍼 라인을 이용하여 cellular(824~894 MHz)와 PCS(1750~1870 MHz)의 이중 주파수 역 F형 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 역 F 안테나의 구조와 스퍼 라인의 길이에 의해서 비교적 쉽게 두 개의 동작 주파수의 결정이 가능하고, 안테나의 전

체 크기가 40 mm×14 mm×9.4 mm로써 단말기 내
장용 안테나로 사용할 수 있으며, 제작 공정이 간단
하고 제작 비용이 또한 저렴한 장점을 가지고 있다.

설계된 이중 주파수 역 F 형 안테나는 현재 국내
에서 사용중인 cellular와 PCS 단말기에 적용이 가
능한 특성을 보이고 있다.

향후, 이러한 이중 주파수 역 F 형 안테나를 상용
화하기 위해서 안테나 특성의 변화 없이 안테나 크
기를 줄일 수 있는 방법과 차폐판이나 다중기판과
같이 제작 및 특성 최적화에 어려움이 있는 요소를
제거하는 방법이 연구되어야 할 것이다.

또한, 설계 이론의 관점에서 본 논문은 단지 스퍼
라인의 길이에 대해서만 안테나의 동작 주파수 특
성을 연구하였는데, 앞으로 스퍼 라인 모양, 위치
등에 대한 안테나의 이중 주파수 특성에 대한 체계
적인 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] D. Sanchez-herandez, "Active microstrip patch
antennas for monolithic microwave integrated
circuits (MMIC's)", Ph.D. Thesis, London Univ.,
1995.

[2] Zi Dong Liu, Peter S. and David Wake, "Dual-

frequency planar inverted-F antenna", *IEEE Tr-
ans. Antennas Propagat.*, vol. 45, no. 10, pp.
1451-1458, Oct. 1997.

[3] S. Maci, G. B. Genteli, P. Piazzes and C. Salva-
dor, "Dual-band slot-loaded patch antenna", *IEE
Proc.*, H., 142, pp. 225-232, 1995.

[4] Hammad, "Dual and broadband antennas using
spur line filter for communication system", *MSc
Thesis*, Queen's Univ., Kingston, Ontario, Cana-
da, June 1997.

[5] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa and J.
R. James, "Small Antennas Research", Studies,
1997.

[6] D. Sanchez-herandez and D. I. Robertson,
"Analysis and design of dual-band circularly
polarised microstrip patch antenna", *IEEE
Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, pp. 201-
205, 1995.

[7] C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee and Y. L.
Chow, "Experimental Study of a Microstrip
Patch Antenna with an L-Shaped Probe", *IEEE
Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, no. 5, pp.
777-783, May 2000.

허 문 만



1975년 1월 24일생
1997년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학사)
2002년 2월: 동국대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 동국대학교 대
학원 전자공학과 박사과정

윤 현 보

1979년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 교수