

Air Substrate를 이용한 이중 대역 마이크로스트립 안테나

Dual Band Microstrip Antenna with Air Substrate

이 석 문 · 김 희 중* · 하 천 수**

Seok-Moon Lee · Hee-Joong Kim* · Cheun-Soo Ha**

요 약

본 논문에서는 air substrate를 이용하여 웨지 모양의 방사 패치에 슬롯을 부가하여 이중 대역 특성을 갖는 안테나에 관하여 연구하였다. 웨지 모양으로 경사진 형태의 air substrate 안테나는 대역폭을 증가시킬 수 있으며, 급전 프로브의 길이가 짧아지므로 긴 프로브 급전에서 발생하는 리액턴스 성분을 줄일 수 있다. 또한, 방사 패치에 위치한 슬롯은 사용 주파수에 따라 리액턴스 성분이 변하게 되므로 안테나의 공진 주파수가 변하게 되며, 이로서 이중 대역(셀룰러 대역과 PCS 대역) 특성을 얻을 수 있다. 안테나의 대역폭, 입력 임피던스 등에 영향을 미치는 슬롯의 길이와 위치는 시뮬레이션을 통해 최적치를 얻었으며, 안테나를 제작하여 실험한 결과 -10 dB 대역폭은 셀룰러 대역과 PCS 대역 등 두 대역을 만족하였고, -15 dB 수준의 교차 편파 특성을 보였다. 이러한 결과들로서 본 연구에서 제안된 안테나는 셀룰러 대역과 PCS 대역의 기지국 안테나로서 이용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we study the characteristics of dual band microstrip antenna with the wedge-shaped radiation patch added the slot using air substrate. Wedge-shaped patch antenna with air substrate is avoided the large probe reactance associated with a thick substrate owing to the use of short probe and good impedance matching over a wide frequency range can be obtained. Slot on the antenna radiator varies the reactance component according to the employed frequency and affect the resonance frequency of the antenna, therefore the antenna can resonate at the dual band(cellular and PCS band). The slot length and position have an effect on the bandwidth and input impedance of the antenna are optimized by simulation. From the experiment results for the fabricated antenna, -10 dB of S_{11} is content with the allocated bandwidth of Cellular and PCS system and -15 dB of cross polarization level. From the results of this paper, it has been confirmed that the proposed antenna can be used as the base station antenna for Cellular and PCS band.

Key words : Dual Band, Wedge-Shaped, Base Station Antenna, Slot on the Patch, Cellular and PCS Band

I. 서 론

최근 첨단 정보화 사회의 구현에 따라 다양한 통신 서비스와 많은 정보들을 교환해야 하는 필요성이 대두되고 있으며, 유선에 의존하기 보다는 무선에

의해 이를 해결하는 추세이다. 이 같은 요구를 해결하기 위하여 여러 대역을 사용하고 또한 광대역인 무선 통신 시스템의 요구가 증가하고 있으며, 이러한 무선 통신 시스템의 기술 추세에 맞추어 최근 안테나 설계 기술도 광대역 안테나 또는 다중 대역 안

「본 논문은 금오공과대학교 교내 학술연구비의 지원에 의해 연구되었음.」

엘지 필립스 디스플레이(주) 연구소(LG Philips Displays, Product and Technology Center)

*국방기술품질원 통신전자 센터(Defense Agency for Technology & Quality, Communication and Electronic Center)

**금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20070613-064

· 수정완료일자 : 2007년 8월 14일

테나에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다.

현재 널리 사용되고 있는 안테나 중의 하나인 마이크로스트립 안테나는 소형화, 경량화, 제작의 용이성 등의 여러 장점이 있으나, 대역폭이 좁다는 단점이 있으며, 마이크로스트립 기판의 두께를 크게 하므로써 이를 해결할 수 있다.

그러나 두꺼운 기판을 사용하면 안테나의 효율이 감소되며 불필요한 표면파가 발생되어 안테나 설계를 어렵게 하고 위상 어레이에서 주사할 수 없는 영역을 만든다^[1]. 매우 낮은 유전율을 가지는 두꺼운 기판을 사용하면 안테나의 효율은 향상되고 표면파를 효과적으로 방지할 수 있으며, 주파수 대역폭이 넓어지게 된다. 이러한 기능을 만족하는 이상적인 기판은 공기를 유전체로 사용한 air substrate이다. 두께가 두꺼운 air substrate를 이용한 안테나는 긴 프로브 급전에 의해 리액턴스 성분이 발생되며, 이를 줄이기 위한 방안으로 방사 패치를 웨지 모양으로 한 안테나가 제안되었다^{[2],[3]}.

본 논문에서는 air substrate를 이용한 웨지 모양의 방사 패치에 슬롯을 부가하여 셀룰러 대역과 PCS 대역에서 동작하는 이중 대역 기지국 안테나에 관하여 연구하였다. 안테나의 방사 패치에 부가된 슬롯은 안테나의 리액턴스 성분을 조정함으로써 안테나의 두 번째 공진점이 부가된다. 따라서 슬롯의 길이와 위치를 조정함으로써 셀룰러 대역과 PCS 대역에서 동작하도록 공진 특성을 조정할 수 있다. 안테나의 대역폭, 입력 임피던스 등에 영향을 미치는 슬롯의 길이와 위치는 기존의 시뮬레이션 tool인 MWS를 이용하여 최적화하였고 이를 설계에 반영하였다.

II. Air Substrate를 이용한 이중 대역 안테나의 설계

그림 1은 본 논문에서 제안한 웨지 모양의 air substrate를 이용한 마이크로스트립 안테나의 기본 구조이다. 제안된 안테나는 접지 면을 갖는 기판, 방사 패치, 급전 선로와 프로브 급전부로 구성되어 있다. 방사 패치는 접지 면과 최소 거리 h_1 과 최대 거리 h_2 를 갖는 경사진 웨지 모양으로 주어지며, 최소 거리 h_1 에 연결된 스트립 급전 선로에 프로브를 연결하여 급전하였다.

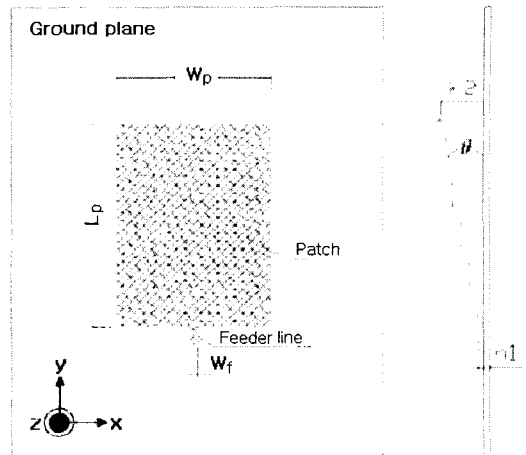


그림 1. 안테나의 기본 구조

Fig. 1. Antenna structure.

2-1 패치의 각도에 의한 안테나의 특성

안테나의 대역폭을 증가시키기 위한 방법에는 두꺼운 유전체 기판을 사용하는 방법, 크기가 다른 패치를 적층하는 방법, 바랙터 다이오드, 단락 핀을 이용하는 방법 등 여러 가지 방법이 있다^{[3],[4]}.

본 논문에서는 안테나의 대역폭을 개선하기 위해 매우 낮은 유전율(공기)을 가지는 두꺼운 기판을 사용하였으며, 기판 두께 때문에 긴 프로브를 사용하여 급전함으로써 리액턴스 성분이 발생하게 되며, 이를 감소시키기 위해 본 논문에서는 접지면과 일정한 각도를 갖도록 웨지 모양으로 경사지게 방사 패치를 배치하여 짧은 프로브를 사용할 수 있게 하므로써 리액턴스 성분을 감소시킬 수 있었다.

그림 1에서 보는 바와 같이 방사 패치는 웨지 형태로 되어 있으므로 폭과 높이의 비가 일정한 일반 마이크로 스트립 패치 안테나와 달리 폭과 높이의 비는 일정하지 않으며, 실효 유전율 ($\epsilon_{r\text{eff}}$)은 이 비율에 의존한다. 웨지 모양으로 된 방사 패치 안테나의 기본 공진 주파수는 다음 식으로 주어진다^[5].

$$f_r = \frac{c}{2L_p \cos \theta \sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} \quad (1)$$

여기서 $\theta = \sin^{-1}[(h_1 - h_2)/L_p]$, L_p 는 패치의 길이, α 는 fringing factor이다.

첫 번째 공진 주파수를 859 MHz로 하고 위 식에 의해 L_p 를 구하고 W_p 를 적절히 선정하면 각각

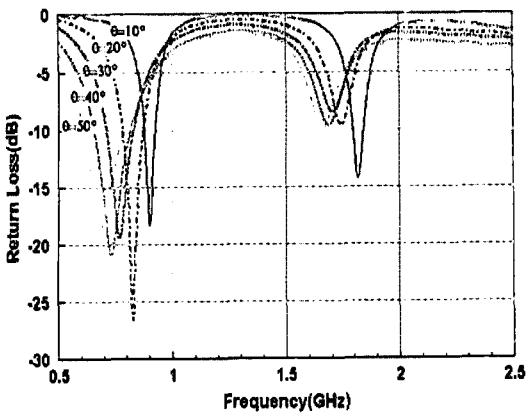


그림 2. 패치의 각도 θ 에 따른 동작 주파수 변화
Fig. 2. The variation of operating frequency versus θ .

114 mm, 83 mm가 된다. 방사 패치의 각도에 따른 안테나의 특성을 기존의 시뮬레이션 tool인 MWS를 이용하여 계산하였다. 그림 2에서는 패치의 각도 θ 를 10°에서 50°까지 증가시켰을 때의 동작 주파수의 변화를 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 패치의 각도가 증가할수록 동작 주파수가 낮아지고 대역폭은 증가하였다. 따라서 접지면과 평행한 패치 안테나에 비해 안테나의 크기를 줄일 수 있으며 본 논문에서는 셀룰러와 PCS 기지국 안테나에서 요구하는 특성인 down tilt 각도인 15°의 방사 패턴을 얻기 위해 접지면과 패치가 이루는 각도를 15°로 선정하였다.

2-2 슬롯의 결합에 의한 안테나의 특성

본 논문에서는 단일 패치 안테나로 이중 대역 특성을 얻기 위해서 방사 패치상에 슬롯을 추가하였으며 이렇게 하므로서 주파수에 따른 공진 특성이 다르게 된다. 적절한 안테나의 특성을 얻기 위해서 슬롯의 길이와 폭 그리고 슬롯의 위치 등을 구하였다. 그림 3과 같이 859 MHz에서 공진이 일어나는 패치의 각도를 15°로 고정시켜 놓고, 슬롯의 길이 L_s 를 50 mm에서 80 mm까지 10 mm 간격으로 변화한 결과를 그림 4에 도시하였다. 그 결과, 슬롯의 길이가 증가함에 따라 첫 번째 공진 주파수와 두 번째 공진 주파수가 모두 낮아지며, 이는 방사 패치 상에 슬롯을 추가하면 전류의 경로가 길어져서 동작 주파수가 낮아짐을 알 수 있다. 또한, 슬롯의 길이가 증가할수록 두 번째 공진 주파수의 대역폭이 개선됨을

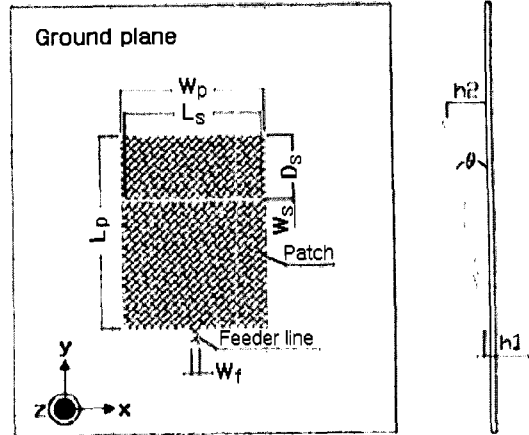


그림 3. 슬롯이 추가된 제안된 안테나 구조
Fig. 3. Structure of the proposed antenna with slot.

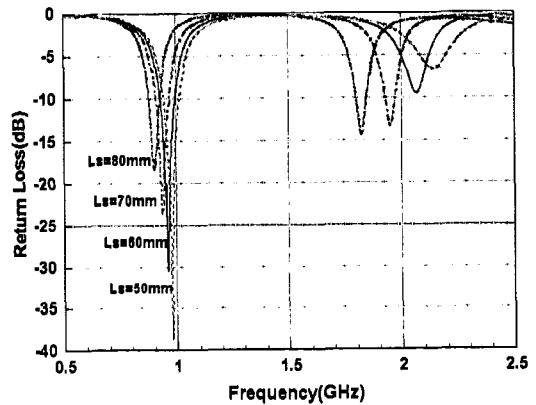


그림 4. 슬롯의 길이 L_s 에 따른 동작 주파수
Fig. 4. The variation of operating frequency versus L_s .

알 수 있다.

또한, 슬롯의 길이 L_s 는 80 mm로 고정시켜 놓고, 슬롯의 폭 W_s 를 1 mm에서 5 mm까지 변화시켰을 때 동작 주파수의 변화는 첫 번째 공진 주파수의 반사 손실 특성이 개선되며 약간의 주파수 변화가 관찰되었다. 그 결과를 그림 5에 나타냈었다.

그림 6은 슬롯의 길이 L_s 와 슬롯의 폭 W_s 를 고정시켜 놓고, 슬롯의 위치 D_s 를 접지면과 최대 거리를 갖는 패치의 끝단으로부터 10 mm에서 70 mm까지 20 mm 간격으로 변화시켰을 때의 동작 주파수 변화를 나타낸다.

그 결과, 슬롯의 위치가 방사 패치의 상측 끝단에

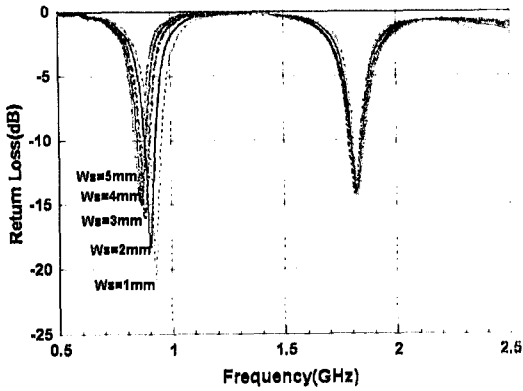


그림 5. 슬롯의 폭 W_s 에 따른 동작 주파수
Fig. 5. The variation of operating frequency versus W_s .

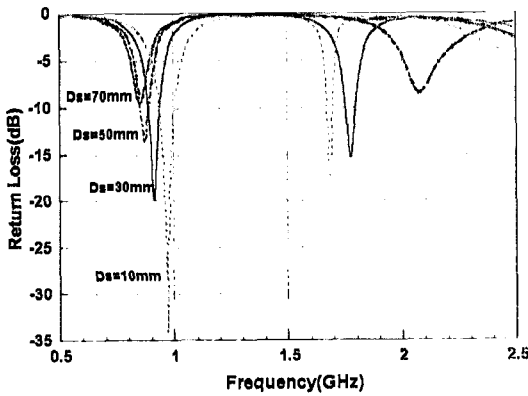


그림 6. 슬롯의 위치 D_s 에 따른 동작 주파수
Fig. 6. The variation of operating frequency versus D_s .

가까울수록 두 공진 주파수가 서로 가까워졌으며, 슬롯의 위치 D_s 가 작을수록 첫 번째 공진 주파수와 두 번째 공진 주파수의 반사 손실 특성이 개선됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 위의 시뮬레이션 결과로부터 접지면과 패치가 이루는 각도 $\theta=15^\circ$, 슬롯의 길이 $L_s=80$ mm, 슬롯의 폭 $W_s=2$ mm, 슬롯의 위치 $D_s=34.2$ mm의 값을 구하여 안테나 설계에 이용하였다. 그리고 시뮬레이션 결과는 셀룰러 대역의 중심 주파수인 859 MHz에서 반사 손실이 -15 dB이며, 대역폭이 106 MHz(12.3%), PCS 대역의 중심 주파수인 1,810 MHz에서 반사 손실이 -18 dB이며, 대역폭이 120 MHz(6.6%)를 얻었다.

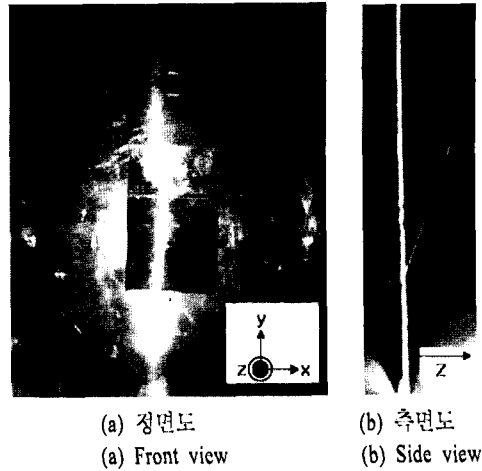


그림 7. 제작된 안테나
Fig. 7. Photograph of the fabricated antenna.

III. 실험 및 결과 고찰

3-1 안테나의 제작 및 측정

시뮬레이션 결과를 이용하여 셀룰러 대역과 PCS 대역의 기지국용 안테나에 적용할 수 있는 안테나를 제작하였다. 방사 패치의 크기는 83×114 mm, 패치의 두께는 0.3 mm이며, 공기 유전율은 1이고, 접지면의 크기는 300×300 mm로 하였다. 입력 임피던스 50 Ω 에 정합되는 h_1 과 W_f 의 최적치를 구한 결과, $h_1=1$ mm, $W_f=4.8$ mm이며 길이, 10 mm 위치에서 프로브를 통하여 급전하였다. 그림 7에서는 제작

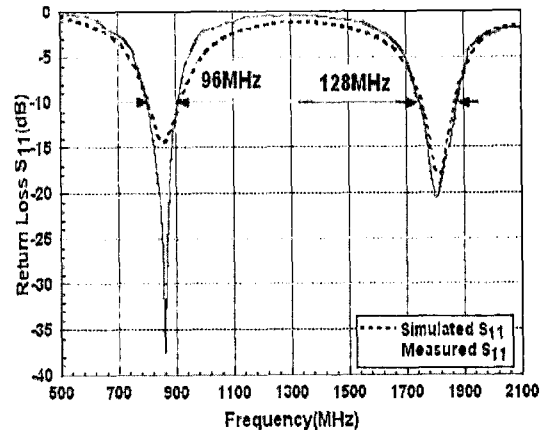


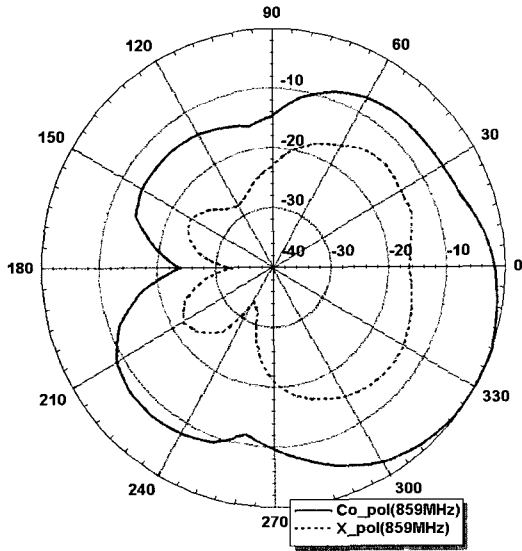
그림 8. 제작된 안테나의 반사 손실
Fig. 8. Return loss of fabricated antenna.

된 시제품 안테나의 사진을 보았다.

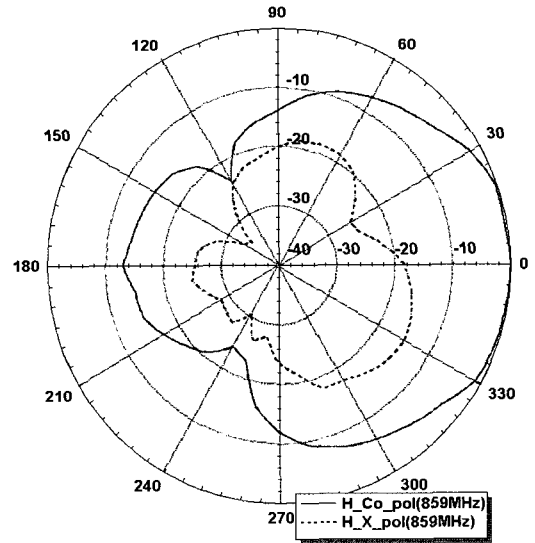
제작된 안테나의 첫 번째 공진 주파수는 셀룰러 대역의 중심 주파수인 859 MHz이고 -10 dB 대역폭은 96 MHz이었다. 그리고 두 번째 공진 주파수는 PCS 대역의 중심 주파수인 1,810 MHz이며, 대역폭은 128 MHz로 측정되었다. 그림 8에서 이러한 결과를 나타내었고, 그림 9와 그림 10에서는 주파수 별로

E, H 방사 패턴을 각각 나타내었으며, 1,810 MHz 대역에서 E 패턴에 비해 H 패턴의 교차 편파의 특성이 저하되었음을 알 수 있다. 이것은 기본 공진 주파수로 동작하는 소형 마이크로스트립 안테나에서 발생하는 현상과 유사하다⁶⁾.

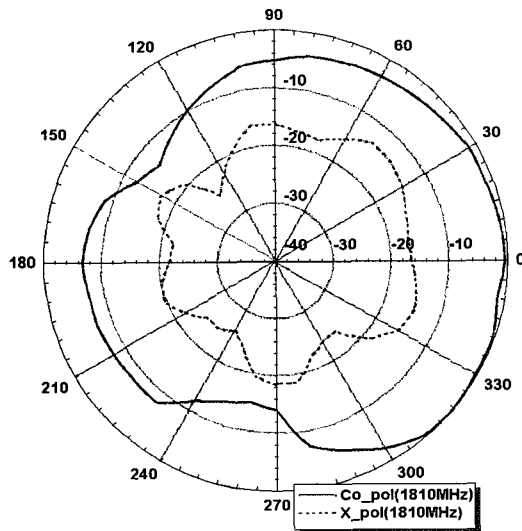
3-2 결과 고찰



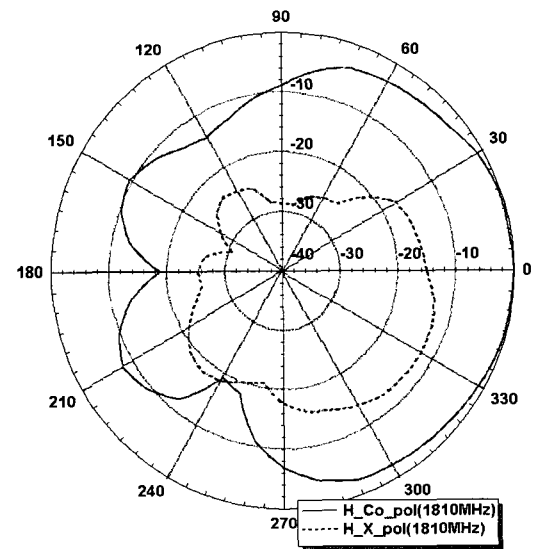
(a) $f_r = 859$ MHz



(a) $f_r = 859$ MHz



(b) $f_r = 1,810$ MHz



(b) $f_r = 1,810$ MHz

그림 9. 제작된 안테나의 E field 방사 패턴(yz-평면)
Fig. 9. E field radiation pattern of fabricated antenna (yz-plane).

그림 10. 제작된 안테나의 H field 방사 패턴(xz-평면)
Fig. 10. H field radiation pattern of fabricated antenna (xz-plane).

표 1. 결과 비교

Table 1. Comparison of results.

구분	셀룰러 대역		PCS 대역	
	대역폭 (MHz)	주파수 대역 (MHz)	대역폭 (MHz)	주파수 대역 (MHz)
설계 목표	70	824~894	120	1,750~1,870
시뮬레이션	106	806~912	120	1,750~1,870
측정 결과	96	804~900	128	1,748~1,876

제작된 안테나의 주파수 특성은 시뮬레이션 결과와 비교적 일치했으나, 반사 손실 특성은 시뮬레이션과 측정값에 약간의 차이가 있었으며, 이것은 안테나 제작시 방사 패치의 경사 각도와 급전 프로브의 연결 및 측정상의 오차뿐만 아니라 시뮬레이션 오차로도 생각된다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 표 1에 비교하였다. 안테나의 E field 방사 패턴의 교차 편파와 동일 편파는 약 -15 dB의 차이를 가지며, 반치각은 셀룰러 대역에서는 $\pm 34^\circ$, PCS 대역에서는 $\pm 62^\circ$ 의 빔 폭을 가진다. 이러한 결과로서 본 논문에서 제안한 안테나는 기지국 안테나에 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 air substrate를 이용한 웨지 모양의 방사 패치 상에 슬롯을 부가하여 이중 대역을 갖는 안테나를 제안하고 제작 및 측정을 통하여 그 가능성을 확인하였다.

기존의 안테나 사양에 적합한 대역폭 특성을 얻기 위해 air substrate를 이용하여 웨지 모양으로 15° 경사지게 방사 패치를 부착하였다. 그리고 단일 안테

나로서 이중 대역 특성을 얻기 위해 경사진 방사 패치 상에 슬롯을 부가함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

측정 결과는 셀룰러 대역(824~894 MHz)과 PCS 대역(1,750~1,870 MHz)을 만족하였고, 이득은 5.8~6.3 dBi이었으며, 안테나의 편파 특성은 약 -15 dB를 얻었다. 따라서 본 논문에서 제안한 단일 안테나를 사용하여 이중 대역용 안테나로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. F. A. Ayoub, "Analysis of rectangular microstrip antennas with air substrates", *Journal of Electromagnetic Waves and Appl.*, vol. 17, no. 12, pp. 1755-1766, 2003.
- [2] Feng-Wei Yao, Shun-Shi Zhong, and Xian-Ling Liang, "Experimental study of ultra-broadband patch antenna using a wedge-shaped air substrate", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 48, no. 2, Feb. 2006.
- [3] J. F. Zurcher, F. E. Gardial, *Broadband patch antennas*, Artech House, 1995.
- [4] J. F. Zurcher, "The SSFIP, a global concept for high performance broadband planar antennas", *Electronics Letters*, vol. 24, pp. 1433-1435, 1988.
- [5] Y. M. Jo, "Broadband patch antennas using a wedge-shaped air dielectric substrate", in *IEEE Antennas Propagat. Soc.Int. Symp. Dig.*, pp. 932-935, 1999.
- [6] R. Waterhouse, "Small microstrip patch antenna", *Electronics Letters*, vol. 31 pp. 604-605, 1995.

이 석 문



1989년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년 2월: 금오공과대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1991년 2월~현재: LG Philips Displays (주) 책임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC, 디스플레이장치

하 천 수



1974년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학사)
1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1984년 3월~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수

1989년 4월~현재: LG전자 Digital Display 사업본부 디지털영상제품연구소 기술고문
2000년 2월~2001년 2월: UCLA 전기전자공학부 방문교수
[주 관심분야] 안테나 설계, Microwave 시스템

김 희 중



1984년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년 2월~현재: 금오공과대학교 전자통신공학과 박사과정
1988년 2월~현재: 국방기술품질원 선임기술원

[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC