

PCS/IMT-2000 기지국용 광대역 마이크로스트립 배열 안테나

정회원 김태우*, 최재훈**

A Broadband Microstrip Array Antenna for PCS/IMT-2000 Base-Station

Tae-Woo Kim*, Jae-Hoon Choi** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 PCS와 IMT-2000 서비스를 동시에 수용할 수 있는 광대역 안테나를 설계하였다. 광대역 특성을 얻기 위하여 두 개의 폼 물질, 기생소자로 구성된 개구면 결합 방식을 사용한 다층구조를 사용하였다. 기생소자의 크기와 폼 물질의 높이를 조절함으로써 광대역 특성을 얻었다. 또한, 급전선 하단 $\lambda/4$ 위치에 도체판을 사용함으로써 후방 방사를 줄였다. 단일 방사소자의 대역폭은 VSWR 1.3이하에서 550MHz를 얻었다. 제작된 1×4 배열 안테나의 대역폭은 VSWR 1.3이하에서 460MHz, 안테나 이득은 11.15~12.15dBi, 전후방비는 30dB를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a broadband microstrip antenna for PCS and IMT-2000 service is designed. To obtain the broadband characteristics of an antenna, we utilized the multi-layered structure composed of two foam material layers, parasitic element and aperture coupled feeding network. The broadband characteristic is obtained by changing the size of parasitic element and the height of foam materials. In addition to that, the usage of metal layer at the distance of $\lambda/4$ from feed-line, back radiation is reduced. The bandwidth of a single element for VSWR less than 1.3 is about 550MHz. The bandwidth of a designed 1×4 array antenna for VSWR less than 1.3 is about 460MHz. The gain of a designed array antenna is about 11.15~12.15dBi and the front-to-back ratio is about 30dB.

I. 서론

무선통신 기술의 급속한 발전으로 셀룰러 이동통신, PCS, 위성이동통신 등 다양한 서비스 제공이 가능하게 되었고, 곧 차세대 이동통신 시스템인 IMT-2000 서비스가 제공될 예정이다. 새로운 서비스 수용에 따른 새로운 중계기 및 기지국의 설치에 따른 손실과 밀집된 지역 내에 안테나들의 난립에 따른 환경미화의 파괴라는 점에서 대두되는 문

제의의 하나이다. 이에 따라 기존에 제공되는 서비스(PCS)와 신규 서비스(IMT-2000)를 하나의 안테나로 통합할 수 있는 다기능 안테나 개발이 요구되고 있다.

PCS와 IMT-2000 서비스를 동시에 만족할 수 있는 안테나를 구현하기 위해서는 이중급전 이중공진형 구조와 단일급전 이중공진형 구조를 사용할 수 있다. 이중급전 이중공진형 구조를 사용할 경우에 두 급전선간 상호결합의 영향을 충분히 줄일 수 있도록 설계하여야 하는데, 두 서비스가 서로 다른

* LG전자 차세대통신연구소 IMT-2000 응용실
논문번호 : 010055-0404, 접수일자 : 2001년 4월 4일

** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

* 본 연구는 2001년도 한양대학교 교내 연구비에 의하여 지원되었습니다.

편파를 사용하는 경우 급전선간 상호 결합을 기준 레벨(-30dB) 이하로 줄이는 것이 가능하지만[1], 두 서비스가 동일 편파를 사용하는 경우 급전선간 상호 결합 영향을 일정레벨 이하로 줄이는 것이 매우 어렵다. 본 논문에서는 두 서비스가 동일 편파를 사용할 경우에 적용이 가능한 구조로서 두 서비스의 주파수 대역을 만족하는 광대역 특성을 가지는 안테나를 설계하였으며, 이러한 광대역 특성을 얻기 위하여 기생소자를 가지는 다층 구조를 사용하였다.[2][3]

먼저 다층 구조를 갖는 개구면 결합 방식을 사용하여 단일 방사소자를 설계하였으며, 설계된 단일 방사소자를 이용하여 테일러 n 합성법에 의해 1x4 배열 안테나를 설계하였다. 테일러 n 합성법을 이용하여 각 방사소자로 여기되는 전류의 크기와 위상차를 얻었으며, 낮은 부엽 레벨 특성을 얻도록 하였다. 배열안테나로 확장할 경우 중심주파수의 편이를 방지하고, 나빠지는 반사손실 특성의 개선을 위해 개구면 상의 커플링 슬랏 사이에 갭을 만들어 주었다. 낮은 주파수에서의 반사손실 특성 향상을 위하여 갭을 사용하였다. 실제로 갭은 슬랏처럼 작용하여 이를 통하여 낮은 주파수에서 공진이 일어나도록 하여 전체적인 반사손실 특성을 개선하였다[4].

II장에서는 다층 구조를 이용한 광대역 안테나 설계 방법 및 단일 방사소자의 특성을 제시하였으며, III장에는 테일러 n 합성법을 이용한 배열 안테나 설계 및 네트워크 구성, 안테나 제작 및 측정 결과를 나타내었다. 특성의 분석은 상용툴인 앙상블 Ver. 5.1을 사용하였다[5].

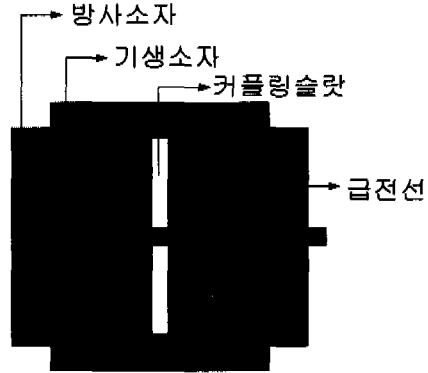
II. 단일 방사소자의 설계

2.1 단일 방사소자의 구조

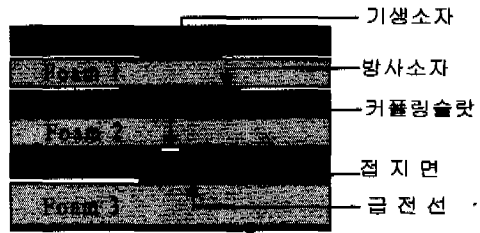
본 논문에서는 PCS와 IMT-2000 서비스의 대역폭을 만족시키는 광대역 안테나를 설계하기 위해서 그림 1에 도시한 기생소자를 갖는 다층 구조를 사용하였다.[2] 이러한 다층구조를 사용함으로써 먼저 방사소자를 통하여 원하는 주파수에서 공진을 발생시키고, 기생소자를 이용하여 공진 주파수 근처에서 또 다른 공진을 발생시키는 이중공진 효과에 의해서 광대역 특성을 얻을 수 있다. [2][3]

표 1에 사용된 기판의 제원을 나타내었다. 일반적으로 개구면 결합 안테나의 경우 접지면과 급전선을 포함하는 기판으로 유전율이 높고, 두께가 얇은 기판을 사용하고 있지만, 급전선의 폭이 너무 가늘

어져 이를 기지국 안테나로 사용할 경우 고전력과 열에 의해 변형을 초래할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 유전율이 상대적으로 낮고, 두께가 두꺼운 기판을 사용하여야 하는데, 본 논문에서는 유전율이 3.5이고 높이가 60mil인 유전체 기판을 사용하였다. 폼물질 3의 두께는 중심주파수에서 $\lambda/4$ 이며, 그 하단에 유한 도체판이 위치하게 된다. 유한 도체판의 크기를 조정해줌으로서 후방방사 특성을 개선할 수 있다. [6]



(a) 설계된 단일 방사소자의 구조



(b) 단일 방사소자의 단면 구조

그림 1. 단일 방사소자의 구조

표 1. 사용된 기판의 제원

	비유전율	두께
Substrate 1	4.3	1.6mm
Substrate 2	3.0	30 mil
Substrate 3	3.5	60 mil
Foam 1	1.03	15 mm
Foam 2	1.03	10 mm
Foam 3	1.03	42 mm

2.2 설계된 단일 방사소자의 특성

그림 2에 기생소자를 사용하지 않고, 폼물질만을 사용한 안테나와 기생소자를 가지는 안테나의 임피던스 특성을 도시하였다. 그림 2(a)는 기생소자를 갖지 않고 10mm의 공기층만을 사용하였을 경우의 임피던스를 스미스 차트에 나타낸 것이고, 그림 2(b)는 기생소자와 기생소자 아래에 15mm의 공기층을 추가하였을 경우의 임피던스를 스미스 차트에 나타낸 것이다. 그림 2(a)의 스미스 차트에서는 하나의 공진이 발생함을 보여주고 있으며, 그림 2(b)의 스미스 차트에서는 두 개의 작은 원의 궤적을 그리는 것으로 통해서 두 개의 공진이 발생했음을 알 수 있다. 이러한 이중공진 효과에 의해서 광대역 특성을 얻을 수 있다.

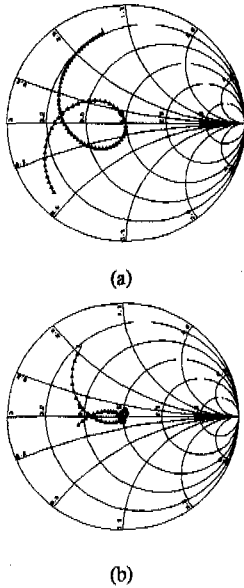


그림 2. 단일방사소자의 임피던스 특성
(a) 기생소자를 사용하지 않은 경우
(b) 기생소자를 사용한 경우

그림 3에는 설계된 단일 방사소자의 VSWR 특성

을 나타내었다. 설계된 단일 방사소자는 VSWR 1.3 이하에서 550MHz(1.69GHz~2.24GHz)의 대역폭을 가져, 두 서비스의 주파수 대역을 만족하였다. 표 2에 설계된 단일 방사소자의 제원을 나타내었다.

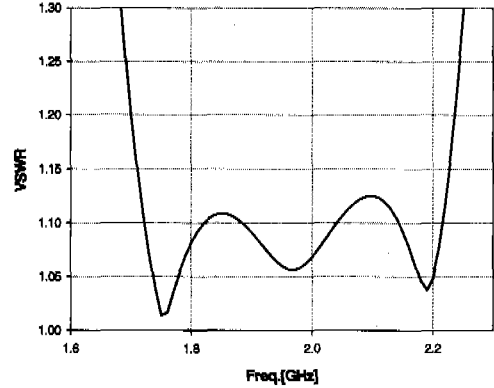


그림 3. 단일 방사소자의 VSWR 특성

Ⅲ. 1×4 배열 안테나의 설계 및 측정 결과

배열 안테나의 설계를 위해서는 배열 안테나의 이득, 주엽과 부엽의 비, 주엽의 경사가 등이 고려되어야 하는데, 이는 방사소자 간의 간격, 각 방사소자로 여기되는 전류 크기의 비와 위상차를 조정함으로써 결정할 수 있다. 배열 안테나 설계시 방사소자 간의 간격은 그레이팅 로브(Grating lobe)가 발생하지 않는 범위 내로 결정해 주었으며, 테일러 n 시리즈 합성법[7]을 사용하여 각 방사소자로 여기되는 전류의 크기와 위상을 결정하여 부엽 준위를 낮추고 주엽의 경사각을 정해주었다.

3.1 급전 네트워크의 구조

테일러 n 시리즈 합성법을 사용하여 얻은 각 방사소자로 여기되는 전류의 크기와 위상을 조절해 주기 위해서 그림 4의 급전 네트워크 구조를 사용하였다.

트랜스포머의 길이는 중심주파수인 2GHz를 기준으로 해서 결정해 주었으며, 각 방사소자로 여기되는 전류의 위상차는 급전선의 길이로 조절해 주었다. 전력분배기 A는 비대칭형 전력분배기를 사용하였으며, 전력분배기 B는 대칭형 전력분배기를 사용하였다.

비대칭형 전력분배기(A)에서 포트 1,2의 임피던스는 각 포트에 여기되는 전력비에 따라 식 (1)로부터

표 2. 단일 방사소자의 설계 제원

	폭	길이
방사소자	4.45cm	5.72cm
기생소자	5.45cm	4.22cm
슬랏	4cm	0.33cm
스터브의 길이	0.84cm	
스터브의 임피던스	50Ω	

얻을 수 있다. [8]

$$P_1 : P_2 = Z_2 : Z_1 \quad (1)$$

비대칭형 전력분배기의 트랜스포머의 임피던스 (Z_3)는 식 (2)와 같다.

$$Z_3 = \sqrt{Z_0 Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2)} \quad (2)$$

그림 4의 급전 네트워크를 사용하여 방사소자간 거리가 0.6λ 인 경우와 0.8λ 인 경우의 1×4 배열안테나를 설계하고 성능을 비교, 분석하였다.

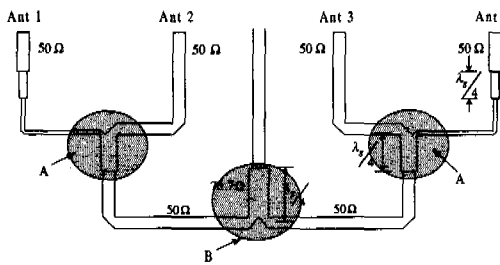


그림 4. 1×4 배열안테나의 급전 네트워크 구조

부엽준위가 -25dB 이고 주빔경사각이 6° 가 되도록 테일러 배열 합성법을 사용하여 전류비와 위상비를 구하였다. 표 3에는 두 안테나의 방사소자에 유기되는 전류비와 위상비를 나타내었다.

표 3. 각 방사소자에 유기되는 정규화된 급전 전류비와 위상비

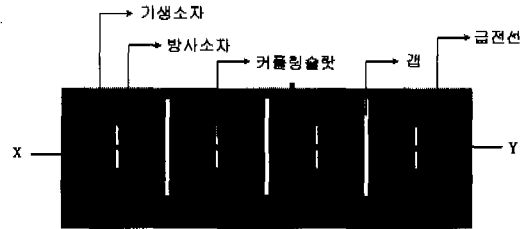
방사 소자	0.6λ		0.8λ	
	전류비	위상비($^\circ$)	전류비	위상비($^\circ$)
1	0.5	34	0.5	45.2
2	1	11.3	1	15.1
3	1	-11.3	1	-15.1
4	0.5	-34	0.5	-45.2

3.2 방사소자간 거리가 0.6λ 인 1×4 배열 안테나의 특성

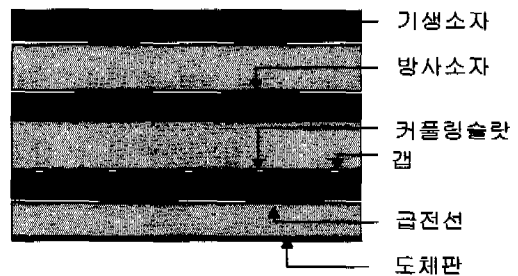
안테나 배열시 발생하는 반사손실의 특성개선을 위해서 커플링 슬롯을 포함하는 접지면 상에 갭을 만들어 주었다.

그림 5에 커플링 슬롯 사이에 갭을 사용한 1×4 배열 안테나 구조를 도시하였다.

갭의 크기를 조절함으로써 두 방사소자 사이의 간섭현상을 줄일 수 있다. 그림 6에 갭의 폭과 길이 변화에 따른 반사손실 특성 변화를 도시하였다.



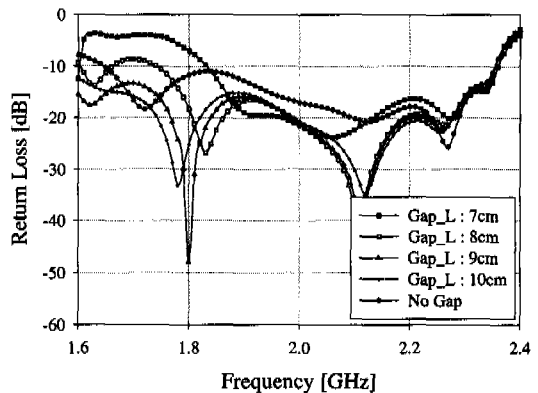
(a) 위에서 본 구조



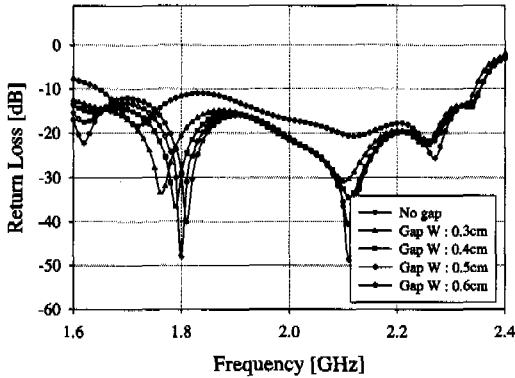
(b) XY 단면 구조

그림 5. 설계된 1×4 배열 안테나의 구조

그림 6(a)에는 갭의 길이에 의한 반사손실의 변화를 나타내었는데, 갭이 없을 경우 낮은 주파수에서 반사손실 특성이 좋지 않지만, 갭의 길이를 조정함으로써 낮은 주파수쪽에서의 반사손실 특성이 개선되는 것을 볼 수 있다. 갭의 길이가 9cm (0.6λ)일 때 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다. 그림 6(b)에



(a) 갭의 길이(L) 변화에 의한 반사손실 특성 변화



(b) 갭의 폭(W) 변화에 의한 반사손실의 특성 변화

그림 6. 갭의 크기변화에 의한 반사손실의 특성 변화

는 갭의 길이가 9cm일 경우, 갭의 폭 변화에 의한 반사손실특성의 변화를 나타내었는데, 갭의 폭 변화에 의한 영향은 많이 받지 않는 것을 알 수 있다. 갭의 폭이 0.5cm일 경우에 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다.

그림 7에 설계된 1×4 배열 안테나의 VSWR 특성을 도시하였다.

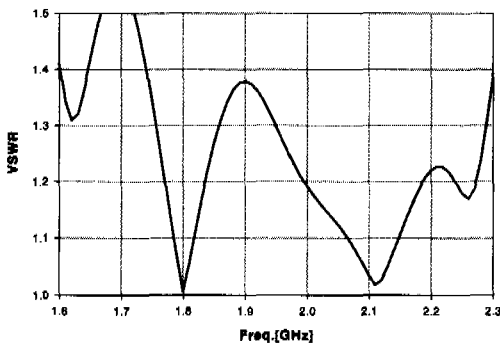


그림 7. 1×4 배열안테나의 VSWR 특성

3.3 방사소자간 거리가 0.8λ 인 1×4 배열 안테나의 특성

방사소자간 거리가 0.6λ 일 경우에는 안테나의 이득을 12~13dBi 정도밖에 얻을 수 없는데, 이는 방사소자간 거리가 가까울수록 안테나 이득이 떨어지기 때문이다. 안테나 이득을 높이기 위하여 방사소자간 거리가 0.8λ 인 1×4 배열 안테나를 설계하였다. 역시 각 방사소자로 여기되는 전류의 크기와 위상은 테일러 n 시리즈 합성법을 사용하여 얻었다. 급전 네트워크 구조는 그림 4의 급전 네트워크 구조를

설계하였으며, 급전선의 길이를 조정해 줌으로서 위상차를 맞춰 주었다. 방사소자간 거리를 0.8λ 로 하였을 경우도 갭이 없을 경우, 반사손실 특성이 나빠졌다. 반사손실 특성 개선을 위하여 커플링 슬롯 사이에 갭을 두었는데, 그림 8에 갭의 길이에 의한 반사손실 특성 변화를 도시하였다. 방사소자간 거리가 0.6λ 인 배열안테나와 마찬가지로 갭의 길이가 9cm, 갭의 폭이 0.5cm 일 때, 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다.

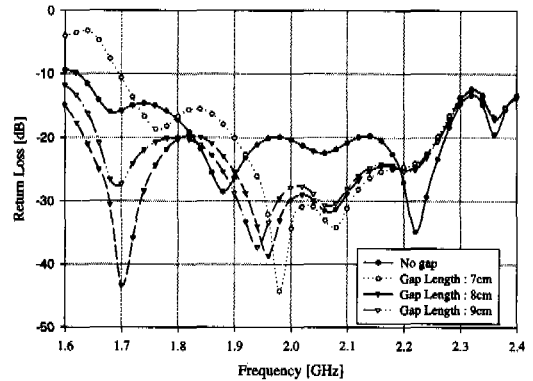


그림 8. 갭의 길이에 의한 반사손실 특성의 변화

그림 9에 방사소자간 거리를 0.8λ 로 한 1×4 배열 안테나의 VSWR 특성을 도시하였다. 설계된 배열 안테나의 대역폭은 VSWR 1.3이하에서 630MHz [1.65GHz~2.28GHz]로 두 서비스의 주파수 대역을 만족하였다.

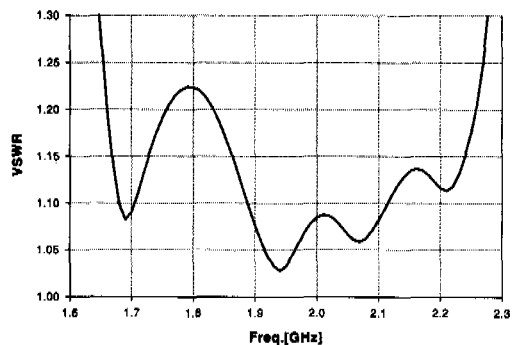


그림 9. 설계된 1×4 배열 안테나의 VSWR 특성

표 4에 방사소자간 거리라 0.6λ 인 배열안테나와 방사소자간 거리가 0.8λ 인 배열안테나의 특성을 비교하였다.

표 4. 방사소자간 거리에 따른 안테나 성능 분석

방사소자간 거리	0.6λ	0.8λ
대역폭 (VSWR<1.3)	110MHz[1.76~1.87GHz] 340MHz[1.95~2.29GHz] *VSWR<1.4:560MHz : [1.74~2.3GHz]	650MHz [1.64~2.29GHz]
이득	12 ~ 13.16 dBi	13.5 ~ 14 dBi
부엽레벨	-18dB 이하	-15dB 이하
후방방사	20dB 이하	30dB이하 (2.15GHz : 20dB)

표 4에서 방사소자 간의 간격이 좁으면 이득은 낮아지지만 부엽레벨 특성이 향상되고, 간격이 넓으면 이득은 높아지지만 부엽레벨이 증가하는 특성을 보인다. 따라서 배열 안테나 설계시 원하는 이득과 부엽레벨을 얻기위해서 적당한 간격을 선택해야 할 것이다.

3.4 1×4 배열 안테나의 제작 및 측정

방사소자간 거리가 0.6λ 인 1×4 배열안테나를 제작하였으며, 제작된 안테나의 사진을 그림 10에 도시하였다. 안테나 제작시 기판 사이에 사용되는 폼(Foam)물질 대응으로 같은 두께의 지지대를 세워 공기층을 두었다.

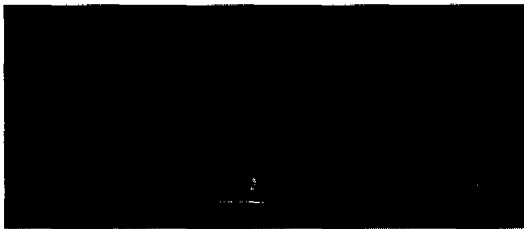


그림 10. 제작된 안테나의 사진

그림 11에 제작된 1×4 배열 안테나의 VSWR 특성을 도시하였다. 제작된 안테나의 대역폭은 VSWR 1.3이하에서 460MHz(1.73GHz~2.2GHz)로 두 서비스의 주파수 대역을 만족하였다.

그림 12에 PCS(1.77GHz) 및 IMT-2000(2.14 GHz) 서비스의 주파수에서의 E평면과 H평면 방사 패턴을 나타내었다.

표 5에 제작된 안테나의 성능을 나타내었다. 제작

된 안테나는 VSWR(<1.3)이 1.75~2.2GHz 대역을 모두 만족했으며, 이득은 1.77GHz, 1.86GHz, 1.95 GHz, 2.14GHz에서 각각 11.16dBi, 11.45dBi, 11.65dBi, 12.25dBi를 보였다. 그리고 부엽레벨은 1.95GHz에서 -16.9dB를 보였고, 다른 주파수에서는 -18dB이하로 나타났다. 전후방비(F/B비)는 2.14GHz에서 29.6dB를 보였고, 다른 주파수에서는 30dB이상을 보였다.

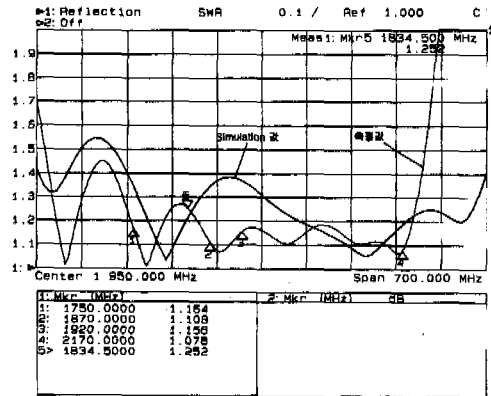
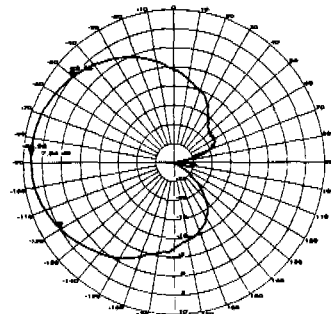
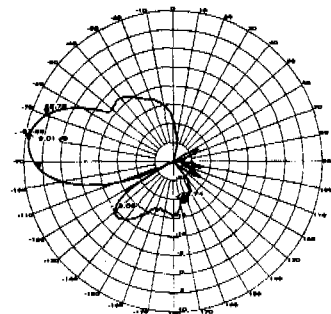
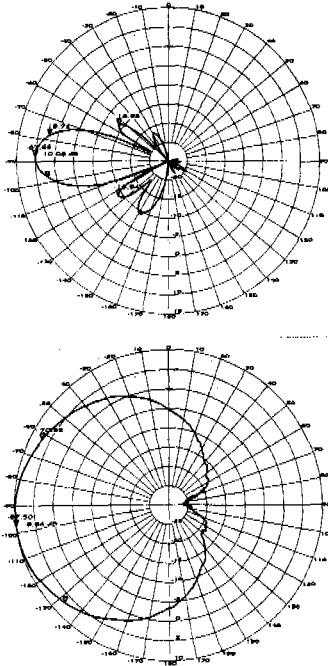


그림 11. 제작된 안테나의 VSWR 특성



(a) PCS의 송신주파수에서의 방사패턴[1.77GHz]



(b) IMT-2000의 수신주파수에서의 방사패턴[2.14GHz]

그림 12. 제작된 안테나의 방사패턴

표 5. 제작된 1×4 배열 안테나의 특성

	PCS		IMT-2000	
	1.77GHz	1.86GHz	1.95GHz	2.14GHz
대역폭 (VSWR<1.3)	1.74GHz~2.2GHz / 460MHz			
안테나이득[dBi]	11.16	11.45	11.65	12.25
F/B ratio[dB]	36.74	30.7	31.9	29.6
부엽레벨[dB]	-18.06	-22.47	-16.9	-18.94
E-평면 3dB 빔폭	22.78	21.81	21.62	19.72
H-평면 3dB 빔폭	69.24	71.44	72.21	70.55

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 배열 안테나를 이용한 PCS 및 IMT-2000 서비스용 기지국 안테나를 설계하였다. 두 서비스의 주파수 대역을 만족하는 광대역 특성을 얻기 위하여 기생소자를 갖는 다층 구조를 사용하였으며 커플링 슬롯 사이에 갭을 만들어 주었다. 방사소자간 거리가 0.6λ, 0.8λ 인 1×4 배열 안테나를 설계하였으며, 대역폭은 방사소자

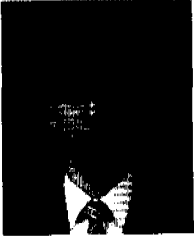
간 거리가 0.6λ 인 경우 VSWR 1.3 이하에서 110 MHz(1.76GHz~1.87GHz), 340MHz(1.95GHz~2.29 GHz)이고, 방사소자간 거리가 0.8λ 인 경우 VSWR 1.3이하에서 630MHz[1.65GHz~2.28GHz]로 두 서비스의 주파수 대역을 만족하였다. 각각의 안테나 이득은 12dBi에서 13.16 dBi, 13.5dBi에서 14dBi를 얻었다. 방사소자간 거리가 0.6λ 인 1×4 배열 안테나를 제작하였으며, 제작된 안테나의 대역폭은 VSWR 1.3이하에서 460MHz(1.74GHz~2.2GHz)로 두 서비스의 주파수 대역을 만족하였다. 제작된 안테나의 이득은 11.15dBi에서 12.15dBi를 얻을 수 있었다. 설계된 단일 방사소자를 이용하여 8개 이상의 배열 안테나를 설계한다면 PCS 및 IMT-2000 서비스용 기지국 안테나로서 사용이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Yamazaki, E. T. Rahardjo and M. Haneishi, "Construction of a slot-coupled planar antenna for dual polarization", *Electronics Letters*, vol. 30, no. 22, pp. 1814-1815, 27th, Oct., 1994.
- [2] Frederic Croq and D. M. Pozar, "Millimeter-Wave Design of Wide-Band Aperture-Coupled Stacked Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas.*, Vol. 39, no. 12, pp. 1170-1176, Dec. 1991.
- [3] Zhu Bocheng, Liu Zhangfa, Li Shizhi, "A novel broadband microstrip antenna", *IEEE AP-S*, Vol. 2 pp.1014 -1017, 1995.
- [4] A. Axelrod, M. Kisliuk, and J. Maoz, "Broadband microstrip-fed slot radiator," *Microwave Journal*, pp. 81-94, June, 1989.
- [5] Ensemble 5.1 Boulder Microwave Technologies, Inc., 1996.
- [6] D. M. Pozar, S. D. Targoski, "Wideband aperture coupled microstrip patch array with backlobe reduction," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 24, pp.2005-2006, 20th, Nov., 1997.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., New york, pp.358-368, 1997.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, New york, pp.391-394, 1990.

김 태 우(Tae-Woo Kim)

정회원



1999년 : 한양대학교
전자공학과(공학사)
2001년 : 한양대학교
전자통신전자공학과
(공학석사)
2001년~현재 : LG전자 차세대
통신연구소 근무

<주관심 분야> 안테나 및 마이크로파 소자 설계

최 재 훈(Jae-Hoon Choi)

정회원



1980년 : 한양대학교
전자공학과(공학사)
1986년 : 미국 Ohio State
University 전기공학과
(공학석사)
1989년 : 미국 Ohio State
University 전기공학과
(공학박사)

1989년~1991년 : 미국 Arizona State University
연구 교수

1991년~1995년 : 한국통신 위성사업본부 연구팀장

1995년~현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부
부교수

<주관심 분야> 안테나 설계, 마이크로파 능·수동
소자 설계