韓國電磁波學會論文誌 第13卷 第4號 2002年 4月 論文 2002-13-4-05

# 새로운 형태의 IMT-2000 기지국용 이중편파 다이버시티 능동형 배열안테나

# A New Type of the Active Array Antenna for IMT-2000 Base Stations by Using Dual-Polarization Diversity

이학용 · 강기조 · 이병제 · 이종철 · 김종헌 · 김남영

H. Y. Lee · G. C. Kang · B. Lee · J. C. Lee · J. H. Kim · N. Y. Kim

## 요 약

본 논문은 IMT-2000 기지국에 적용할 이중편파 다이버시티 능동형 배열 안테나의 새로운 형태를 제안하고, 설계 및 개발하였다. 먼저 배열 안테나를 구성하게 될 단일 안테나 소자는 마이크로 스트립 패치 안테나로서 ± 45°의 편파를 갖는 패치를 설계하여 IMT-2000의 송신부와 수신부를 커버할 수 있는 대역폭 (1,885~2,200 MHz)을 갖추고, 이중편파간에 16 dB 이하의 격리도를 확보하며 이득은 7 dBi 이상으로 확보를 하였다. 최종적으로 2×8 이중편파 능동형 배열 안테나에서는 저 전력증폭기의 분산 장착 기술을 위해 균일한 특성을 갖는 전력증폭기를 각 패치의 후면에 분산하여 1,200 W 이상의 EIRP와 20 dB 이상의 편파간 격리도를 확보할 수가 있었다.

## Abstract

In this work, a new type of the active array antenna for IMT-2000 base stations by using dual-polarization diversity is proposed and developed. As an element of array antenna, a single micorstrip patch antenna of ± 45° slanted is designed by obtaining the bandwidth of 1,885 MHz to 22,000 MHz. The polarization isolation between two linearly polarized waves is less than 16 dB. The gain of element antenna is more than 7 dBi. Finally, 2×8 dual-polarization active array antenna is developed with EIRP of 1,200 W and polarization isolation of 20 dB by placing a low power amplifier at each antenna element.

Key words : active array antennas, dual-polarization, diversity, EIRP

## Ⅰ. 서 론

원하는 곳 어디서나 상대방과의 송신과 수신을 가능케 해주는 차세대 이동 통신인 IMT-2000은 현재 미국, 일본, 유럽, 한국 등 세계 여러 나라에서 활발히 연구 및 개발 진행 중인 이동 통신 서비스이다. IMT-2000 시스템의 마이크로 셀 환경에서 전파는 굴절, 회절 등 여러 경로를 통해 전파하는 다중 경로에 의한 페이딩이 발생하게 되며 이로 인하여 통신 시스템의 성능을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 이러한 열악한 이동통신 채널에서 다른 신호와의 간섭 등을 제거하여 양호한 신호를 수신 할 수 있는 편파 다이버시티 능동형 배열 안테나의 개발은 필수적이라 할 수 있고 특히, 본 연구에서 제안

「이 논문은 2001학년도 광운대학교 교내 학술연구에 의하여 연구되었음.」

광운대학교 RFIC 센터(RFIC Research and Education Center & Mission Technology Research Center, Kwangwoon University)

· 논 문 번 호 : 20010924-134
· 수정완료일자 : 2002년 3월 22일

된 이중 편파 다이버시티 능동형 배열 안테나의 개발이 중요한 이유는 다음과 같다.

### 1-1 기지국 설치비용 절감

기존의 기지국의 안테나는 공간다이버시티를 사용하므로 한 섹터에 3개의 안테나가 필요하다. 그리고 두 수신안테나의 거리는 3 m 정도를 이격시켜야 하므로 안테나의 설치 탑의 크기가 커지는 단점이 있다. 그래서 이중 편파를 이용하여 편파 Diversity를 구현하면 각 섹터당 한 개의 안테나만이 필요하게 되고 철탑 대신 값싼 강관주로 대치할 수도 있게 되어 설치비를 크게 절감할 수 있다.

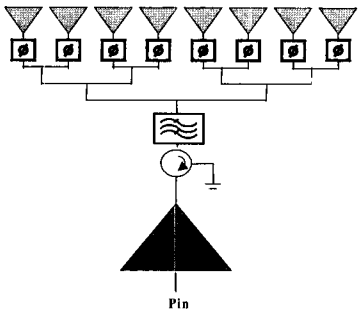
### 1-2 전력의 효율성과 높은 안정성

그림 1에서와 같이 기존의 기지국 안테나는 수동안테나와 고출력 증폭기를 통과한 신호가 동축케이블을 통하여 안테나 커넥터에 연결되는 구조를 갖고 있다. 이 경우 케이블의 손실로 인하여 송신 전력의 절반 가까운 손실이 생기는데 이것을 감안하여 전력증폭기의 출력을 필요한 송신 전력의 2배 가까이 늘려야 한다. 그 만큼 전력증폭기의 값이 비싸지고 이것을 냉각시키기 위한 부대 비용도 더 들어가게 된다. 이것을 개선하기 위하여 본 연구에서 제안된 패치 배열 능동형 안테나의 단일 안테나 각각의 후면에 전력증폭기와 저 잡음 증폭기 및 듀플렉서 위상 편이기 등을 바로 집적시켜 구현한다. 이렇게 하면 값싼 분산형 소형 전력증폭기를 이용하여 충분한 EIRP를 얻을 수 있으므로 제작비를 절감 할 수 있고 한 두개의 증폭기가 고장나더라도 시스템의 성능에 영향을 적게 미치므로 안테나의 안정성을 유지할 수 있다.

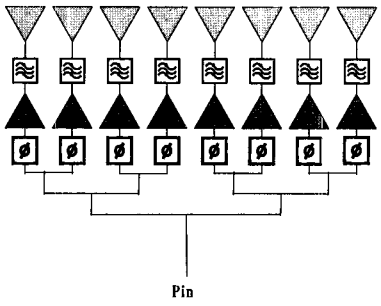
### 1-3 운용 유지비용 절감

전기적 수직/수평 방향 틸트각을 원격 제어가 가능하게 조정함으로써 운용 유지 비용을 절감할 수 있다.

### 1-4 도시 미관 개선




(a) 기존의 기지국 안테나
(a) General type of the base station antenna




(b) 본 연구의 기지국 안테나
(b) New type of the base station antenna

그림 1. 기지국 안테나의 비교
Fig. 1. Comparison of the base station antenna.

크기도 기존의 안테나 보다 작고, 철탑이나 강관주 대신 고층건물의 외벽에 원하는 섹터의 안테나를 한 개만 설치하면 되므로 도시 미관을 개선할 수 있다.

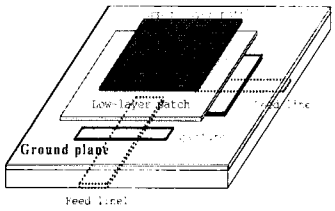
### 1-5 공간 다이버시티 대비 좋은 성능

편파 다이버시티 기법이 공간 다이버시티 기법과 비교해서 1~5 dB 정도 높은 다이버시티 이득을 가진다. 이 편파 다이버시티 기법은 실외환경뿐만 아니라 실내 환경에서도 효과적으로 사용되어질 수 있는 다이버시티 기법이다.[1]

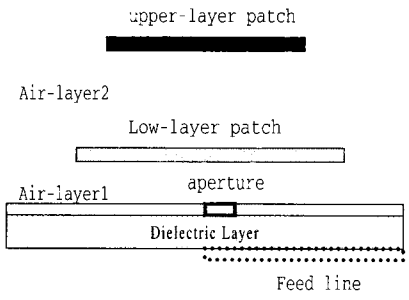
## Ⅱ. 마이크로 스트립 패치 안테나의 구조

마이크로 스트립 패치 안테나는 다양한 모양과

소형이며 각종 시스템에 적용 가능한 형태의 안테나이다. 이런 마이크로 스트립 패치 안테나 특징 때문에 본 논문에서도 마이크로 스트립 패치 안테나를 이용하여 이중 편파 다이버시티 안테나를 구현하였다. 마이크로 스트립 패치 안테나는 일반적으로 $TM_{010}$ 모드로 패치에서 방사된다.[2] 그러나 하나의 패치로 IMT- 2000시스템의 대역폭을 만족하기에는 그다지 쉬운 일은 아니다. 설령 대역폭을 만족하더라도 이중 편파 다이버시티 안테나를 만족하는 다른 요구사항을 모두 만족시킬 수가 없다. 그래서 본 논문에서는 광 대역과 이중 편파 다이버시티를 구현할 수 있는 구조를 세 가지 (적층형 개구면 급전 형태를 갖는 이중 편파 패치 안테나[3]와 응용된 개구면 급전 형태를 갖는 이중 편파 패치 안테나[4], 개구면(aperture) 급전과 프로브(probe) 급전을 갖는 이중 편파 안테나[5] )등으로 제시할 수 있다. 이런 세 가지 구조에서 IMT-2000 기지국용 안테나로서 가장 적합한 구조인 적층형 개구면 급전 형태를 갖는 이중 편파 패치 안테나의 구조를 바탕으로 본 논문을 기술하려고 한다.




(a) 3차원 구조
(a) 3D view




(b) 측면도
(b) side view

그림 2. 이중 편파 다이버시티 안테나 구조
Fig. 2. The structure of Daul-Polarization Diversity Antenna.

그림 2은 이중 편파 다이버시티를 얻을 수 있는 형태이다. 적층형 개구면 형태를 갖는 이중 편파 다이버시티 안테나는 공진 모드를 갖는 아래의 기본 패치를 기존으로 하여 위의 패치(upper layer patch)는 아래의 패치(lower layer patch)와의 상호 coupling을 고려하여 위의 패치의 크기와 높이를 조절하여 주파수와 대역폭을 결정할 수 있다. 그리고 이중 편파 다이버시티를 구현하기 위해 패치의 급전을 두개의 개구면으로 이루고 각각의 정사각형 패치 안테나를 ±45°로 기울여 이중 편파 다이버시티를 구현하였다. 이런 형태의 안테나 구조는 대역폭 확보를 위하여 적층 형태를 사용하고 수신 전용과 송/수신 겸용으로 이루어진 두개의 port를 사용하고 있다. 그리고 여기에서 중요하게 다루어야 할 것은 port 간의 격리도를 위해 두개의 개구면 급전선의 배치를 고려하여 설계되었다.

## Ⅲ. 전력 증폭기의 출력 계산

이동통신 시스템에서 송신 전력을 결정하는데 사용되는 EIRP(effective isotropic radiated power)를 중심으로 송신 RF 단의 Link Budget을 계산을 할 수 있다.[6]

그림 3는 다중 빔 능동형 위상 배열 안테나의 출력의 블럭도이고, EIRP와의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$EIRP = P_{in}\ dBm + 10\log N^2 + G_{patch}\ dB \quad (1)$$

$P_{in}$ = 안테나에 입력되는 power

(전력 증폭기의 출력+RF 단의 손실)

$N$ = 안테나의 갯수

$G_{patch}$ = 단일 이중 편파 안테나의 이득

위의 수식 (1)에서 원하는 EIRP를 만족하는 안테나의 갯수를 결정하고 다른 RF 단의 duplexer, isolator, phase shifter, power divider 등의 손실을 고려하여 전력 증폭기만의 출력과 이득을 계산할 수 있다. 표 1은 본 연구에서 개발될 송신측 모듈에 대한 규격을 보여주고 있다.

본 논문과 관련하여 예로서 전력 증폭기만의 출

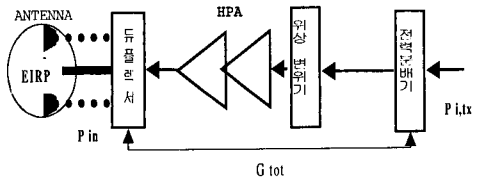



그림 3. 송신 출력의 블록도
Fig. 3. Block diagram of the transmitter.

표 1. 송신측 모듈에 대한 규격
Table 1. Specification of the modules at TX.

| System | 본 연구 | |
|---|---|---|
| Frequency | TX : 2,110 ~ 2,170 MHz | |
| | RX : 1,920 ~ 1,980 MHz | |
| Base-station parameters | TX PA output power | 3~4 W |
| | TX combiner loss | 12 dB |
| | TX duplexer loss | 3~5 dB |
| | Feedline loss | 0.5 dB |
| | TX duplexer Isolation | 30~50 dB |
| | Antenna gain | 5 dBi 이상 |
| | Power divider loss | 12~15 dB |
| | Phase shifter loss | 1 dB |
| | Cell EIRP | 1,200 Watt |

력과 이득을 구하면 안테나의 개수(N)는 16개이고 단일 패치의 안테나의 이득($G_{patch}$)은 5 dBi로 했을 때, 요구되는 1,200 Watt EIRP 이득을 얻기 위해서는 단일 Patch에 인가되는 전력은 $P_{in}$ = 2.5 Watt이상이 되어야만 한다.

## Ⅳ. 설계 및 측정결과

이중 편파 다이버시티를 이용한 단일 패치 안테나는 FR4기판($\varepsilon_r$=4.7)에 Multi-layer를 이용하였다. lower-layer patch 크기는 63 mm이고 upper-layer patch 크기는 53 mm, air-layer 1 높이는 6 mm, air-layer 2 높이는 12 mm, aperture 크기는 30 mm×2.8 mm로 제작하였다. 그리고 급전선은 격리도를 확보를 위해 두개의 선을 45°씩 기울여 이격시켰다.

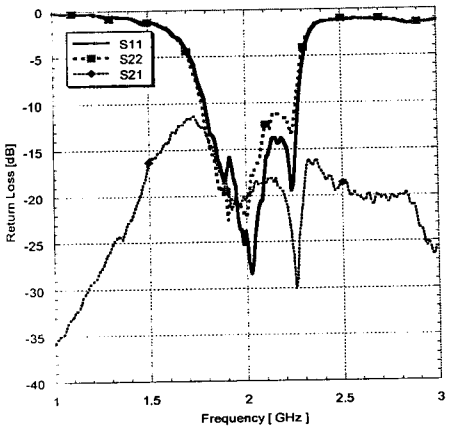



그림 4. 단일 안테나의 반사손실과 격리도
Fig. 4. Return loss & Isolation of single antenna.

그림 4는 Vector Network Analyzer (HP8510C)로 측정한 안테나 급전부의 반사손실과 격리도를 나타낸다. 대역폭(V.S.W.R=1.5:1)은 중심 주파수 2 GHz에서 315 MHz를 얻었고 port 간 격리도는 -15 dB 이하의 결과를 얻었다.

그림 5는 무 반사실에서 측정한 단일 이중 편파 다이버시티 안테나의 Co-polarization과 Cross-polarization의 normalized 방사 패턴을 나타내고 있다.

주파수는 IMT-2000 주파수 대역 (1,885 MHz~2,200 MHz)중에 1,960 MHz와 2,140 MHz 두개의 주파수를 선정하여 측정하였고 Co-polarization의 normalized 수신레벨은 0 dBm 이고 Cross- polari-

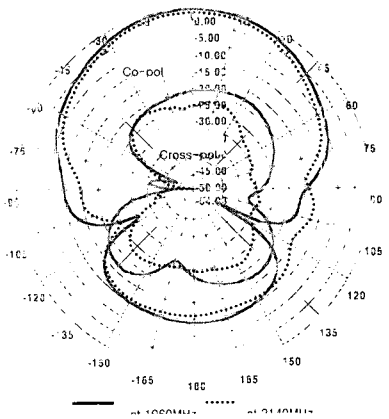



그림 5. 단일 안테나의 방사 패턴
Fig. 5. Radiation Pattern of single antenna.

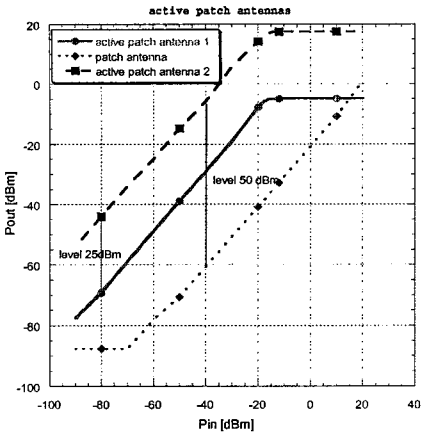



그림 6. 수동 안테나와 능동형 안테나의 출력비교
Fig. 6. Output powers for the passive and active antennas.

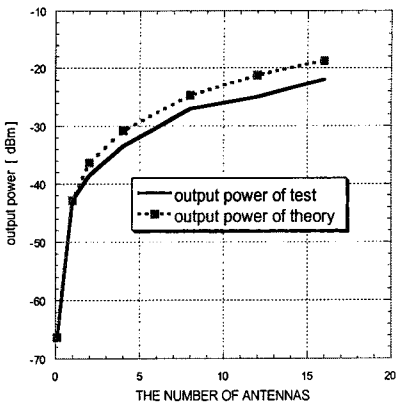



그림 7. 배열 갯수에 따른 출력
Fig. 7. Output power versus the number of antenna elements.

zation의 normalized 수신레벨은 −24 dBm이고 차이는 약 24 dB 이상 값을 얻었고 Co-polarization의 수직 반치각은 75°이고 전후 방비는 15 dB 이하 값을 얻었다.

그림 6은 단일 안테나와 안테나 후면에 전력증폭기를 결합시켰을 때 반사손실에 대한 안테나의 출력을 알아보기 위해 측정한 결과 값이다. 안테나와 안테나의 사이의 거리를 1 m로 하고 수신측 안테나는 Standard Horn 안테나로 하고 송신측 안테나는 제작된 이중 편파 안테나로 하였다. 그리고 전력 증폭기의 출력은 3 W이고 이득은 50 dB을 가지는 high power tech사의 IMT-2000용 전력 증폭기로 사용하였다. Signal Generator의 송신 주파수는 2,140 MHz로 IMT-2000 송신 대역의 한 주파수를 선택하고 안테나의 상황을 passive antenna와 active patch antenna 1 ($S_{11}$=−8 dB)와 active patch antenna 2 ($S_{11}$=−14 dB)일 경우를 측정하였다.

그림 6과 같이 active patch antenna 2는 반사계수가 ($S_{11}$=−14 dB)일 때 전력 증폭기에서 송신출력이 안테나를 통하여 손실 없이 방사된다. 즉, 반사계수에 송신 출력에 큰 영향은 미치는 것을 확인하였다.

그림 7은 배열 갯수에 따른 이중편파 능동형 안테나의 출력을 알아보기 위해 수동일 때, 능동형 단일 패치 안테나일 때, 2개 일 때, 4개 일 때, 8개 일 때, 12개 일 때, 16개 일 때를 측정하였다. 그림 7은 이론과 비교했을 때, 최대 3.26 dB 오차를 보이고 있다. 이런 오차는 각 모듈의 임피던스 부 정합과 패치와 패치 사이의 상호 Coupling으로 인하여 발생되는 손실이다.

그림 8은 무 반사실에서 측정한 2×8 이중편파 능동형 배열 안테나의 편파간 격리도를 나타내는 방사 패턴이다. 주파수 수신측 1,960 MHz와 송신측 2,140 MHz를 선정하여 측정하였다. Co-polarization의 normalized 수신레벨은 0 dBm이고 Cross-polarization의 normalized 수신레벨은 −25 dBm이고 Co-polarization과 Cross- polarization의 차이는 약 25

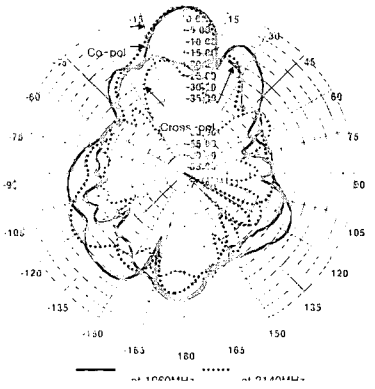



그림 8. 2×8 이중편파 배열 안테나의 방사패턴
Fig. 8. Radiation pattern of 2×8 dual-polarization active array antenna.

dB 이상의 값을 얻었다. 그리고 Co-polarization의 방사패턴의 수직 반치각은 20°이고 sidelobe level은 15 dB이고 전후 방비는 18 dB 이하 값을 얻었다.

제작된 2×8 이중편파 능동형 배열 안테나의 *EIRP*와 Spurious Emission 확인하기 위해 무 반사실에서 측정하였다. 수식 2는 제작된 안테나의 EIRP를 알아보기 위한 수식이다.

$$EIRP = (DUTP) - (SHAP) + SHAG \qquad (2)$$

*DUTP* = 제작된 안테나의 최대 출력
*SHAP* = standard horn antenna로 측정한 출력
*SHAG* = Standard Antenna Gain

수식 2에서 standard horn antenna로 측정한 출력의 측정결과는 −43.83 dBm 이고 제작된 안테나의 최대 출력의 결과는 −0.83 dBm이다. 그리고 Standard Antenna Gain=16 dB 이다. 그래서 EIRP는 59 dBm 이다. 여기에서 편파간 손실 1~3 dB를 더하면 EIRP는 60~62 dBm이 나온다. 그림 9는 무반사실에서 중심 주파수가 2,140 MHz 이고 CDMA Source에서 0 dBm을 안테나 송신 port에 입력시켰을 때 나온 출력 스팩트럼이다. 송신측 스팩트럼의 입력 신호는 QPSK Modulated 3.84 Mcps Chip Pulse를 입력하여 출력 스팩트럼(ACPR : Adjacent Channel Leakage Ratio)은 2.75 MHz offset에서 40.5 dBc이고 5 MHz offset에서 55 dBc 값을 얻었다.

제작된 2×8 이중편파 능동형 배열 안테나의 크기는 1,300 mm×450 mm이고 무게는 80 kg이며 패치 사이의 거리는 0.75 $\lambda_0$로 만들어진 실제모습을

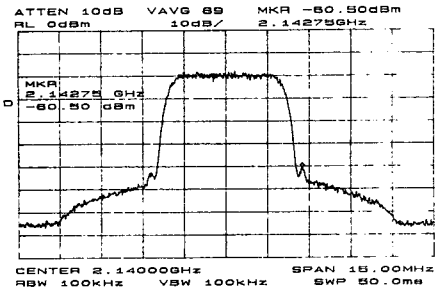



그림 9. CDMA source 2×8 능동형 배열 안테나 출력 스팩트럼

Fig. 9. The output spectrum of 2×8 active array antennas at CDMA source.

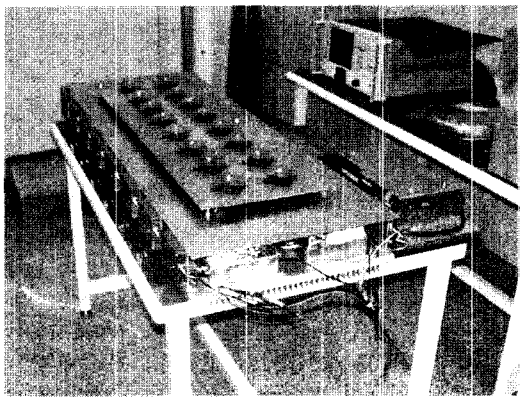


그림 10. 2×8 이중편파 능동형 배열 안테나 실제 모습

Fig. 10. Photograph of the 2×8 dual-polarization array antenna.

그림 10에 나타내고 있다.

## V. 결 론

본 논문에서 IMT-2000용 이중 편파 다이버시티를 이용한 단일 패치 안테나를 제작하였고, 이런 안테나 후면에 전력 증폭기를 장착시켜 안테나를 통해 출력되는 전력을 실험을 통해 알아보았다. 최종적으로 이중 편파 다이버시티를 이용한 2×8 능동형 배열 안테나를 제작하여 EIRP는 1,200 Watts 이상의 출력이 나왔고 출력 스팩트럼 (ACPR : Adjacent Channel Leakage Ratio)은 5 MHz offset에서 45 dBc 이상의 값을 얻었다. 향후 수신측의 편파간 수신 신호의 세기를 비교할 수 있는 회로와 위상변위기의 빔 틸팅 회로를 구성하여 이중편파 다이버시티를 이용하는 능동형 배열 안테나가 IMT-2000용 기지국에 사용되어질 것으로 전망한다.

## 참 고 문 헌

[1] 이영수, 홍순학, 석우찬, 윤영중, "마이크로 셀 환경에서의 편파 다이버시티 기법 적용 위한 파라미터 분석", 한국전자파학회지 제11권 3호, pp. 403-409, 2000.

[2] Balanis, *Antenna theory and design,* John & Wileys, INC. 1997.

[3] D. Loffler, Y. Venot, W. Wiesbeck, "low cost Broadband Antenna with SDMA Capability for next Generation PCS Base Stations", *The 29th European Microwave Conference*. vol. 3, Munich (Germany), pp. 142-1454, October 1999

[4] J. Christ, B Haubermann, U. Oehler, "Shaped beam and highly directive microstrip antenna arrays for broadband 3.5 GHz point-to-multi-point access systems", *The 29th European Microwave Conference*. vol. 3, Munich (Germany), pp. 1-4, October 1999.

[5] 김연정, 김정일, 윤영중, "광대역 이중공진 이중편파 마이크로 스트립 안테나에 관한 연구", 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, vol. 22, no. 1 pp. 213-216, 1999.

[6] 김상기, "Multiple Beam Steering for Communication Base Station Antenna", 안테나 기술워크샵. pp. XII-1 -XII-24, April, 1998.

이 학 용

1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 이동통신 시스템 및 안테나 설계

강 기 조

1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 위성통신 시스템 및 안테나 설계

이 병 제

Reference: 2000년 9월호 page 928 참고

이 종 철

Reference: 2000년 9월호 page 928 참고

김 종 헌

Reference: 2000년 9월호 page 928 참고

김 남 영

Reference: 2000년 9월호 page 928 참고