

마이크로셀 환경에서 편파 다이버시티 기법 적용을 위한 파라미터 분석

Analysis of Parameters for Polarization Diversity Scheme in Microcell

이영수* · 홍순학 · 석우찬 · 윤영중

Young Su Lee* · Sun Hak Hong · Woo Chan Suk · Young Joong Yoon

요 약

본 논문에서는 마이크로셀 환경에서 상향경로(Up-Link)에서의 편파 다이버시티 기법 적용에 필요한 파라미터인 교차편파 변별도(cross polarization discrimination: XPD), 신호상관계수(signal correlation coefficient: ρ), 수신신호 감쇠값(received signal level decrease) 등을 측정을 통하여 분석하였다. 1.9 GHz에서 측정되었으며 빌딩밀집지역, 주택밀집지역, 상권지역, 학교지역 등 서울 도심지역의 여러 환경에서 자료들을 수집하였다. 자료분석 결과 교차편파 변별도(XPD)는 환경에 따라 6~11 dB 측정되었고, 신호상관계수(ρ)는 0.7보다 낮았으며, 수신신호 감쇠값은 3 dB보다 작았다. 공간 다이버시티와 성능비교 분석결과, 편파 다이버시티 이득이 환경에 따라 2~5 dB 정도 높은 것으로 분석되었다. 그러므로, 편파 다이버시티 기법은 마이크로 셀 환경에서 효과적으로 사용될 수 있는 다이버시티 기법으로 판단된다.

Abstract

In this paper, we measured and analyzed cross polarization discrimination(XPD), signal correlation coefficient(ρ) and received signal level decrease, for the application of polarization diversity scheme in the up-link of microcell environments. We experimented in a dense building area, a dense residence area, a market area, a school area and etc at 1.9 GHz. Cross polarization discrimination(XPD) is about 6~11 dB, signal correlation coefficient(ρ) is below 0.7 and received signal level decrease is smaller than 3 dB. The results of comparing polarization diversity with space diversity show that polarization diversity gain is about 2~5 dB higher in the various area. As a results, polarization diversity scheme is more effective than space diversity scheme in microcell environments.

I. 서 론

일반적인 이동통신 시스템에서 신호의 전파는 하나의 경로를 통하는 것이 아니라 여러 경로를 가지고 전파하는 다중경로환경을 갖게 된다. 이러한 다중경로환경을 갖는 채널에서는 페이딩이 발생하게 되며, 이로 인하여 통신 시스템의 성능을 저하시키

는 결과를 가져오게 된다. 특히 고정통신이 아닌 이동통신이라는 편리성으로 인하여 그 수요가 급증하고 있는 현재의 시점에서, 페이딩으로 인한 통신시스템의 전반적인 성능저하는 시스템의 용량의 제한이라는 심각한 문제를 유발하게 된다. 이와 같은 시스템의 용량 문제를 해결하기 위한 방법으로, 첫째 스마트 안테나 시스템 사용^[1]과 둘째 셀의 크기를

연세대학교 전기·컴퓨터공학과(Microwave & Antenna Lab., Dept. of Electrical & Computer Engineering., Yonsei Univ.)

* 현대전자 통신시스템 BU 3G 동기식 BU H/W 연구팀(BU 3G Synch. BS H/W Lab., Hyundai Electronics)

· 논문 번호 : 991103-099

· 수정완료일자 : 1999년 12월 8일

마이크로 셀 또는 피코셀로 작게 하는 방법, 셋째 다이버시티 기법을 이용하는 방법 등이 있다.

이동통신 기지국에서 시스템에서 페이딩에 의한 성능 저하를 극복하는 방법으로 전통적으로 공간 다이버시티 기법이 사용되어 왔다. 이러한 공간 다이버시티 기법은 두 개의 수신안테나를 보통 3~5미터 정도 이격시켜야 한다. 그러므로, 기지국에서 공간상의 크기 문제가 야기되어 기지국 설치시 설치장소 유치의 어려움과 도시 미관상의 환경 문제를 유발시킬 수 있는 소지를 가진다. 이러한 문제들을 해결할 수 있는 다른 다이버시티 기법으로 편파 다이버시티 기법이 있다. 편파 다이버시티의 경우 두 개의 다이버시티 수신안테나를 같은 공간상에 위치시킬 수 있으므로, 셀의 크기가 점점 작아져 가고 있는 현재의 이동통신 시스템 환경에서 매우 효과적인 대안이라고 할 수 있다^[2]. 특히 마이크로셀과 같이 기지국의 위치가 주위 건물보다 낮게 위치하여야 하고, 기지국 선정의 어려움이 큰 환경에서 그 유용성은 더욱 클 것이다.

편파 다이버시티 이득은 송신된 신호가 임의의 채널에서 다중경로를 통해 전파해 가면서 편파의 변화로부터 얻을 수 있으므로, 이론상으로는 기지국과 이동국 사이에 존재하는 장애물과 산란체의 개수에 의존된다^[3]. 편파 다이버시티 기법의 성능을 분석하기 위한 파라미터로는 신호상관계수(ρ), 수신신호 감쇠값, 교차편파 변별도(XPD) 등이 알려져 있다^[2]. 본 논문에서는 이 세 가지 파라미터에 대하여 마이크로셀 환경의 상향경로에서 측정을 통하여 분석하여 보았다.

II. 측정 시스템 및 환경

2-1 측정 시스템

2-1-1 공간 다이버시티

다이버시티 수신은 두 개 이상의 독립적인 채널 상태를 통해 수신되는 신호에 의존하며 최적의 결합 논리를 이용한다. 공간 다이버시티에서는 동일 페이딩을 피하기 위해 안테나간의 간격을 충분히 멀리 떨어지게 한다. 이와 같이 하여 수신상태는 크게 개

선되며 상관성이 적은 다이버시티의 수를 늘림으로써 효과는 향상된다. 페이딩 패턴의 상관성을 없게 하기 위해 필요한 다이버시티 안테나 상호간의 이격 거리는 다중경로 수신신호의 퍼짐 정도를 나타내는 다중경로범위(AOS, angle of spread) Δ 와 수신방향(DOA, direction of arrival) θ 에 의존하게 된다. θ 와 Δ 에 따른 상관관계를 보면 안테나의 이격 거리를 일정하게 둘 때 θ 가 클수록, Δ 는 작을수록 상호간의 상관도가 높아지게 된다^{[4],[5]}.

두 개의 수신안테나에 들어오는 신호의 상관계수를 구하기 위하여, 송신기에 다이폴 안테나를 이용하여 수직편파 신호를 송신하고, 수신기에 두 개의 수직편파 안테나를 적절한 간격으로 두어서 각 안테나에 들어오는 신호를 동시에 수신하였다. 송신기는 HP사의 8664A 신호발생기를 이용하였고, 수신기에는 전계강도를 측정할 수 있는 Anritsu사의 ML524B를 이용하였다. 공간다이버시티 기법에 사용된 안테나는 Anritsu사의 MP663A 다이폴 안테나를 사용하였다.

측정시스템의 송·수신 주파수는 1.9 GHz이고, 송신출력은 가시영역의 경우 0 dBm, 비가시영역의 경우 19 dBm이다. 본 연구에서는 여러 가지 환경차이를 고려하여 두 개의 수신안테나의 간격을 4미터 (20 λ 이상)로 설정하여 측정하였다.

2-1-2 편파 다이버시티

편파 다이버시티를 측정하는 방법은 다음과 같다. 우선 송신기의 신호발생기를 이용하여 수직 다이폴 송신안테나로부터 수직편파 신호를 송신시킨다. 수신기에서는 독일 K사의 기지국용 $\pm 45^\circ$ 편파 안테나를 이용하여 편파 다이버시티를 측정하게 된다. 측정시스템의 송·수신 주파수는 1.9 GHz이고, 송신출력은 환경에 따라 0~19 dBm 이다.

2-2 측정 환경

편파 다이버시티를 측정하기 위해서 기지국의 편파 다이버시티 안테나를 빌딩밀집지역, 주택밀집지역, 상권지역, 학교지역 등 서울도심의 여러 환경으로 구분하여 측정을 수행하였다. 측정 환경은 그림 1에 나타내었다. 기지국의 높이는 마이크로셀 환경

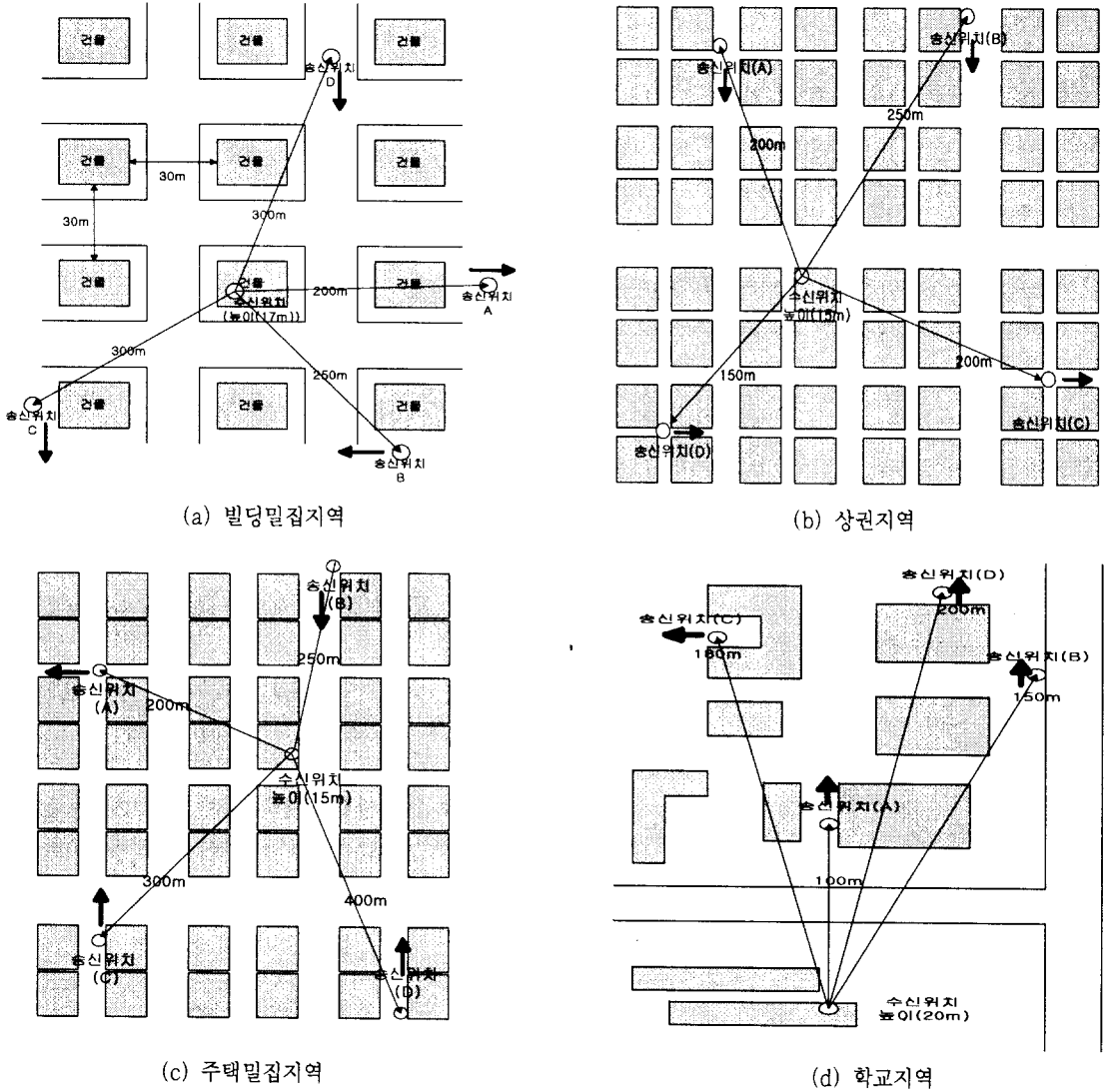


그림 1. 측정환경

Fig. 1. Measured environments.

임을 감안하여 주위의 건물 높이 보다 낮은 15~20 m 정도의 roof-top level이 되도록 편파 다이버시티 안테나를 설치하였으며, 셀의 반경은 500 m이하로 설정하여 측정하였다. 마이크로 셀 환경이므로 송신기의 이동속도는 차량의 이동속도가 아닌 일반 사람들의 도보속도인 3 km/h 정도로 기지국 안테나를 중심으로 수평방향으로 이동하게 하였다. 그리고 각각의 환경에서는 학교지역을 제외한 모든 환경에서 가시거리(Line of Sight)는 존재하지 않았다. 주택지역 환경에서는 기지국안테나 주위에 장애물 및 큰 건물

들이 존재하지 않았으나 빌딩밀집지역에서는 기지국안테나 주위에 장애물 및 높은 건물들이 존재하였다.

III. 결과 분석

3-1 상관계수(Signal correlation coefficient)

신호의 상관계수는 $\pm 45^\circ$ 의 편파 안테나를 이용하여 측정한 자료로부터 얻었다. 송신기(이동국)로

부터 전송된 수직편파 신호의 일부는 다중경로를 거치면서 경로상의 장애물과 산란체들에 의해 수평편파 성분으로 바뀌는 신호도 존재하게 될 것이다. 그러므로, 기지국의 편파 안테나에 도달하는 신호는 식 (1)의 수평편파 신호성분과 수직편파 신호성분의 선형 중첩으로 간주될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{수평편파 신호성분: } E_x &= r_1 \cos(\omega t + \phi_1) \\ \text{수직편파 신호성분: } E_y &= r_2 \cos(\omega t + \phi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

단, r_1, r_2 는 Rayleigh 분포를 하고 무상관(un-correlated)되어 있으며 ϕ_1, ϕ_2 는 균일하게 분포한다고 가정한다. 이로부터, 수직으로부터 좌우로 $\pm \alpha$ 의 각을 가지는 편파 다이버시티 각 안테나에 수신되는 신호의 값 V_1 과 V_2 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_1 &= E_y \cos \alpha + E_x \sin \alpha \\ &= (r_2 \cos \alpha \cos \phi_2 + r_1 \sin \alpha \cos \phi_1) \cos \omega t \\ &\quad - (r_2 \cos \alpha \sin \phi_2 + r_1 \sin \alpha \sin \phi_1) \sin \omega t \\ V_2 &= E_y \sin \alpha - E_x \cos \alpha \\ &= (r_2 \sin \alpha \cos \phi_2 + r_1 \sin \alpha \cos \phi_1) \cos \omega t \\ &\quad - (r_2 \sin \alpha \sin \phi_2 + r_1 \sin \alpha \sin \phi_1) \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

그러므로, 각각의 편파 안테나에 수신된 신호 성분의 크기 R_1 과 R_2 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} R_1 &= [r_2^2 \cos^2 \alpha + r_1^2 \sin^2 \alpha \\ &\quad + 2r_1 r_2 \cos \alpha \sin \alpha \cos(\phi_1 - \phi_2)]^{1/2} \\ R_2 &= [r_1^2 \cos^2 \alpha + r_2^2 \sin^2 \alpha \\ &\quad + 2r_1 r_2 \cos \alpha \sin \alpha \cos(\phi_1 - \phi_2)]^{1/2} \end{aligned} \quad (3)$$

이때, 기지국의 편파 안테나에 도달되는 편파 신호성분에 대한 상관계수를 구하는 식은 다음과 같이 정의된다^[3].

$$\begin{aligned} \rho &\approx \frac{\langle (R_1^2 - \langle R_1^2 \rangle) \rangle \langle (R_2^2 - \langle R_2^2 \rangle) \rangle}{[\langle (R_1^2 - \langle R_1^2 \rangle)^2 \rangle \langle (R_2^2 - \langle R_2^2 \rangle)^2 \rangle]^{1/2}} \\ &= \frac{\langle R_1^2 R_2^2 \rangle - \langle R_1^2 \rangle \langle R_2^2 \rangle}{[\langle (R_1^2 - \langle R_1^2 \rangle) \rangle \langle (R_2^2 - \langle R_2^2 \rangle) \rangle]^{1/2}} \end{aligned}$$

여기서 $\langle \cdot \rangle$ 는 앙상블 평균(ensemble average)을

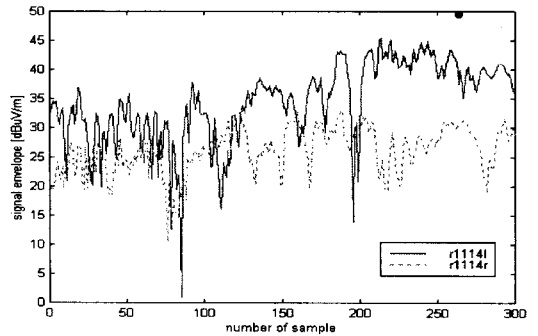


그림 2. 편파 안테나에 수신된 신호
(— : -45°, ... : +45°)

Fig. 2. Received signal of polarization diversity antenna.

나타낸다.

그림 2는 측정되어진 수신신호 level의 예를 나타낸다.

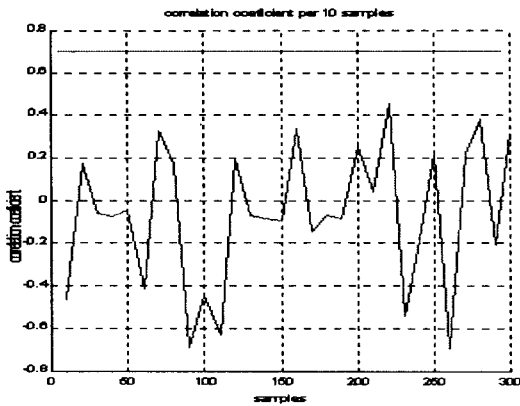
그림 3은 각 환경별로 측정되어진 수신신호의 상관계수를 나타낸다.

모든 환경에 대한 편파 안테나에 도달하는 각각의 신호들에 대한 상관계수의 값은 대부분 0.7보다 작게 측정되었으며, 이것은 편파 다이버시티를 사용했을 경우 다이버시티에 의한 이득을 얻을 수 있음을 의미한다.

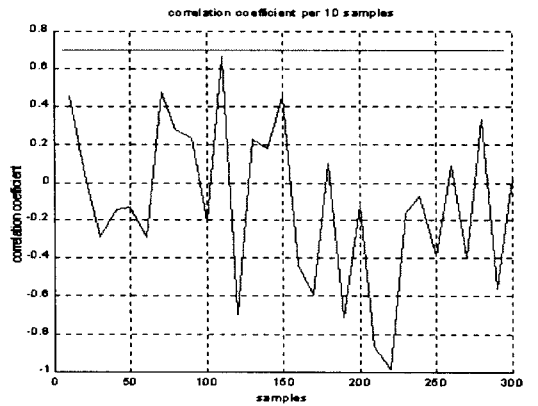
3-2 수신신호의 감쇠값(Received signal level decrease)

편파 다이버시티 이득은 송신된 신호가 임의의 채널에서 다중경로를 통해 전파해 가는 동안 발생하는 편파의 변화로부터 얻을 수 있으므로, 이론상으로는 기지국과 이동국 사이에 존재하는 장애물과 산란체의 개수에 의존된다. 기지국의 편파 안테나는 수직방향에 대해서 $\pm 45^\circ$ 를 이루고 있다. 이때, 수신신호의 감쇠값은 수직편파 안테나의 수신 신호값을 기준으로 편파안테나에 수신된 신호의 평균값에 대한 차이 값으로 나타낼 수 있다.

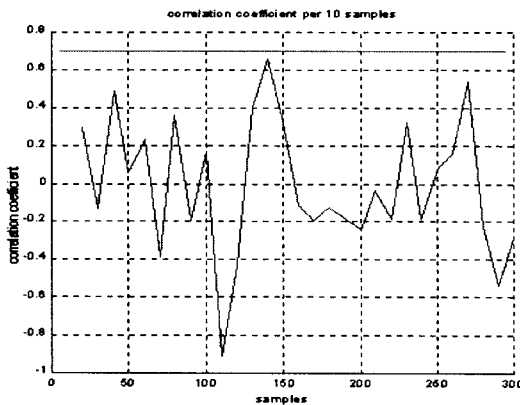
표 1은 각각의 측정환경에 따른 수신신호의 감쇠값을 나타낸다. 전체적인 수신신호의 감쇠값은 3 dB보다 작게 측정되었다. 주택지역에서는 주위에 높은 건물들이 존재하지 않았고 건물들의 높이가 일정하



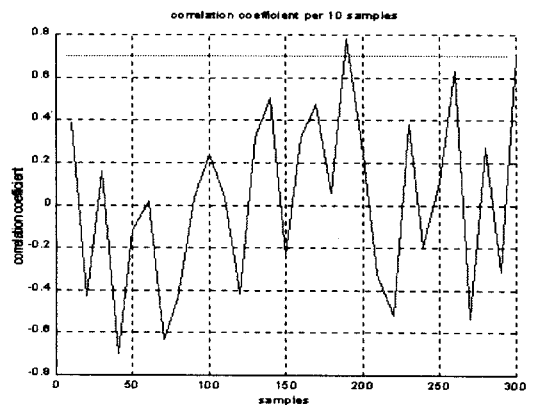
(a) 빌딩밀집지역



(b) 주택밀집지역



(c) 시장지역



(d) 연세대학교 구내 지역

그림 3. 환경에 따른 측정된 상관관계수

Fig. 3. Measured correlation coefficient for environment.

표 1. 측정환경에 따른 수신신호의 감쇠값과 XPD
Table 1. Received signal level decrease and XPD.

측정 환경	수신신호의 감쇠값	XPD
빌딩밀집지역	-1.33 dB	6.85 dB
주택밀집지역	-1.16 dB	7.21 dB
상권지역	-2.07 dB	5.9 dB
학교지역	-0.92 dB	10.6 dB
공원지역	-2.86 dB	9.1 dB

였으므로 수신신호의 감쇠가 크지는 않았다. 상권지역에서는 주택지역과 마찬가지로 주위에 높은 건물들은 존재하지 않았으나 지붕높이 정도의 건물들이

존재하였으며 높이는 대체로 일정하지 않았고 또한 천막등에 의하여 LOS가 거의 존재하지 않았으므로 주택지역보다는 수신신호의 감쇠가 컸다. 특이할 사항으로 연세대학교 구내에서 수행되어진 교내 측정에서는 NLOS지역일지라도 도로 폭이 넓은 지역에서의 수신신호 감쇠가 작았지만 나무와 같은 산림으로 둘러싸인 공원형태의 특정지역에서는 가장 큰 수신신호의 감쇠를 나타내었다.

3-3 교차편파 변별도 (XPD)

XPD는 편파 다이버시티의 성능을 평가하는데 중요한 파라미터가 된다. 편파 다이버시티의 이득은

신호가 전파해 가는 동안 편파 성분의 변화로부터 오기 때문에 XPD는 편파의 변화정도를 나타내는 척도로 볼 수 있으며, 편파 다이버시티의 이득은 XPD에 의해 좌우되게 된다. XPD의 값은 식 (5)와 같이 정의된다^[2].

$$XPD = \frac{\text{수직편파안테나에 수신되는 신호의 평균값}}{\text{수평편파안테나에 수신되는 신호의 평균값}}$$

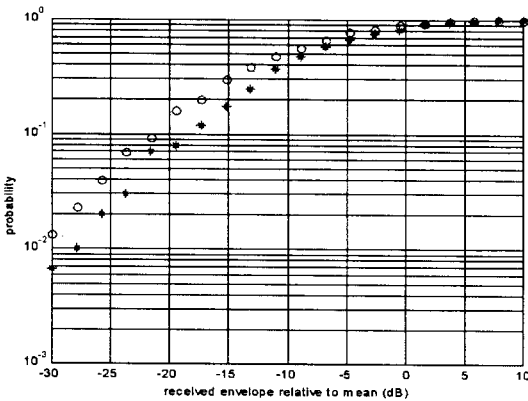
표 1은 측정환경에 따른 XPD값을 보이고 있다. XPD가 작다는 것은 신호가 경로상에서 반사나 회절에 의하여 편파의 변화가 크다는 것을 의미하고, XPD가 크다는 것은 신호가 경로상에서 반사나 회

절 없이 전파해 간다는 것을 의미하므로 편파 다이버시티의 이득은 XPD가 작을수록 증가하게 된다. 그리고, 표 1과 비교해 볼 때, XPD가 작을수록 수신된 신호의 감쇠가 커지는 것을 확인할 수 있다. 그러므로, 다이버시티 이득과 수신 신호 전력은 서로 trade-off 관계에 있음을 알 수 있다.

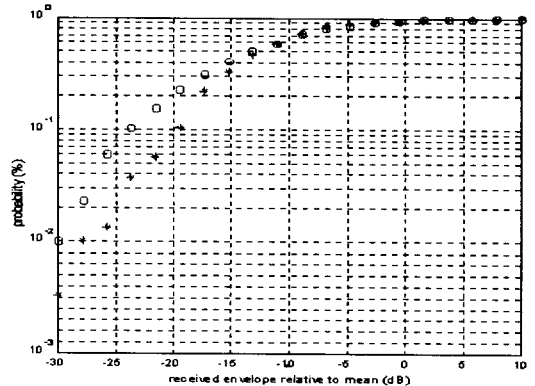
그림 4는 편파 다이버시티의 이득을 알아보기 위한 다이버시티 신호의 CDF를 나타낸다.

IV. 결 론

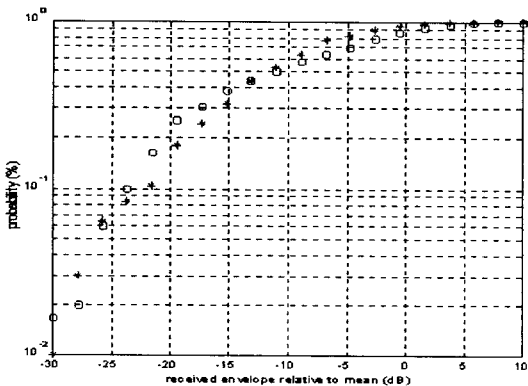
본 논문에서는 마이크로 셀 환경에서 편파 다이버시티기법을 적용하기 위한 파라미터인 신호상관



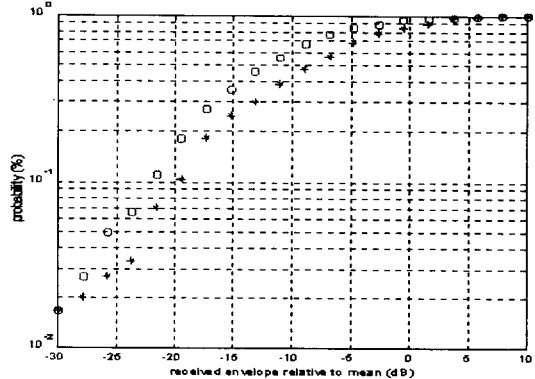
(a) 빌딩밀집지역



(b) 상권지역



(c) 주택밀집지역



(d) 학교지역

* : 편파 다이버시티 안테나

o : 공간 다이버시티 안테나

그림 4. 다이버시티 이득에 대한 CDF

Fig. 4. CDF for diversity gain.

계수(ρ), 수신신호 감쇠값, 교차편파 변별도(XPD), 들을 측정을 통하여 분석하여 보았다. 측정결과 수신신호의 상관 계수값은 0.7보다 낮게 측정되었으며, 수신신호의 감쇠값은 3dB보다 작았고 XPD값은 5~11 dB로 측정되었다. 그리고 다이버시티 이득에 대한 CDF 분석결과 편파안테나의 이득이 공간 다이버시티 이득보다 환경에 따라 2~5dB정도 이득이 높은 것으로 나타났으므로 마이크로 셀 환경에서 적용 가능한 다이버시티 기법이라고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. F. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, "Capacity improvement with base station antenna arrays in cellular CDMA," *IEEE*

Trans. Veh. Technol., vol. VT-43, no. 3, pp. 691-698, 1994.

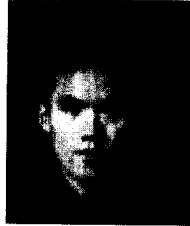
[2] S. Kozono, H. Tsuruhara, and M. Sakamoto, "Base station polarization diversity reception for mobile," *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. VT-33, no. 4, pp. 301-306, 1984.
 [3] R. G. Vaughan, "Polarization diversity in mobile communication," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-39, no. 3, pp. 177-186, 1990.
 [4] M. Nakano, T. Satoh, and H. Arai, "Up-link Polarization diversity and antenna gain measurement of hand-held terminal," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1995*, pp. 177-186, 1990.

이 영 수



1997년: 서울산업대학교 전자공학과(공학사)
 1999년: 연세대학교 대학원 전기·컴퓨터공학과(공학석사)
 [주 관심분야] 채널모델링, 다이버시티 기법, 스마트 안테나

석 우 찬



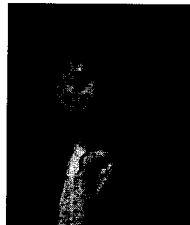
1999년: 연세대학교 전파공학과(공학사)
 1999년~현재: 연세대학교 대학원 전기·컴퓨터공학과 석사과정
 [주 관심분야] 채널모델링, 스마트 안테나, LMDS

홍 순 학



1998년: 연세대학교 전파공학과(공학사)
 2000년: 연세대학교 대학원 전기·컴퓨터공학과(공학석사)
 [주 관심분야] 채널모델링, 스마트 안테나, EMI/EMC

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1986년 9월: 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1991년 12월: Georgia Institute of Technology, Ph. D.
 1992년 3월~1993년 2월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단 선임연구원
 현재: 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 부교수
 [주 관심분야] 안테나, 전파전파, RF소자설계