

교외 및 주거 지역에서의 편파 다이버시티 전파전파 특성 연구

A Study on the Propagation Characteristics of Polarization Diversity in Rural and Residential Areas

임종태 · 김성진 · 유봉국

Jong-Tae Ihm · Sung-Jin Kim · Bong-Guk Yu

요 약

본 논문에서는 편파 다이버시티에 대한 전파전파 특성 분석과 상용의 이동전화 기지국 시스템에 적용하기 위한 가능성을 검증하였다. 이를 위하여 교외지역 및 주거지역을 대상으로 $\pm 45^\circ$ 선형 편파특성을 가진 이중편파 안테나를 이용하였고, 다이버시티 이득(Diversity gain)과 상호상관계수(Cross correlation coefficients)의 관점에서 기존의 공간 다이버시티의 성능과 비교 분석하였다. 분석 결과 공간 다이버시티가 편파 다이버시티보다 1~2 dB 정도의 다이버시티 이득은 높게 나타났으며, 휴대용 이동전화 환경에서는 편파다이버시티와 공간다이버시티 각각에 대한 상호 상관 계수는 그 차이가 ± 0.1 이내로 큰 차이가 없음을 CDF(Cummulative Distribution Function) 분석을 통하여 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we performed the comparisons between polarization diversity using dual polarization antenna which has $\pm 45^\circ$ slanted linear polarization characteristics and conventional space diversity in rural and residential areas. The analysis was done by evaluating the diversity gain improvement and cross correlation coefficients between two received signals through each diversity branch. From the results, we could confirmed that space diversity has bigger diversity gain than polarization diversity by 1~2 dB, and there is a little difference of ± 0.1 in cross correlation coefficients by analyzing CDF under portable mobile phone environments.

I. 서 론

보통의 이동 전파환경에서, 무선링크는 심한 페이딩을 겪으며 이로인해 아날로그 및 디지털 시스

템의 성능은 크게 저하된다. 이러한 성능저하를 개선하기 위한 여러 방법들이 거론되어 왔지만 그 중에서 다이버시티 수신기법은 상용화된 대표적인 기술이다. 다양한 다이버시티 기법중에서 공간다이버시티는 셀룰라 이동전화 시스템의 도입 초기에서

SK Telecom 중앙연구원 안테나 및 무선기술팀(SK Telecom Central R&D Center Antennas and Propagation Team)

· 논문 번호 : 980206-014

· 수정완료일자 : 1998년 5월 4일

부터 널리 사용되어오고 있다.

그러나 이동전화 단말기의 수요 성향이 셀룰라 서비스 초기의 차량용 이동전화에서 보행자용의 휴대용 단말기로 급속히 전환됨에 따라 기존의 수직 편파를 사용하던 전파환경이 경사진(Slanted) 형태의 편파 형태로 변화하고 있다. 따라서 2기의 수신 다이버시티 안테나를 이용하는 기존의 공간다이버시티에서 탈피하여 경사진 편파 특성을 최대한 이용할 수 있는 이중 편파안테나를 적용한 편파 다이버시티 기법에 대한 관심이 모아지고 있으며 관련 연구가 다 수 발표되어 있다.[1],[3],[4],[8]

이중 편파다이버시티를 이용할 경우는 단일안테나 구조로 2기의 수신안테나를 사용한 것과 같은 효과를 낼 수 있고 듀플렉서(Duplexer)를 이용하거나, 송신안테나를 동일 반사판에 구현한 안테나를 사용할 경우는 기지국당 안테나의 개수를 현재보다 최대 1/3까지 줄일 수 있다. 이러한 특성은 요즘처럼 전자파 장애가 일반 국민들 사이에 큰 관심사이고 또한 신규사업자들의 출현에 따라 기지국 치국장소의 확보가 어려운 상황에서 대국민 이미지 개선과 주변환경과의 친화적 안테나 설치라는 관점에서 큰 의미가 있다고 할 것이다.

본 논문에서는 기존의 공간다이버시티와 편파다이버시티에 대해 다이버시티 이득과 두 수신 신호 간의 상호 상관계수분석을 통하여 편파 다이버시티 구조의 상용기지국에의 적용가능성을 검토하였다.

본 논문의 제2장에서는 시험방법 및 시험환경을 제3장에서는 데이터의 분석 방법을 다루었고 제4장에서는 수집된 데이터로부터 다이버시티 이득 및 상호 상관계수의 분석결과를 언급하였으며 종합적인 결론을 제5장에 기술하였다.

II. 시험 구성 및 절차

실험에 사용된 이동국은 송신주파수 849 MHz에 출력은 최대 44 dBm의 CW(Continuous wave)를 사용하였으며, 실제 송신출력은 측정 경로 별로 -10 dBm~0 dBm 중에서 적정출력을 선택하였

다. 이동국 송신안테나는 차량용 0 dBd 이득의 수직편파 안테나를 차량의 지붕에 설치하였으며 차량 지붕과의 반사파 간섭 영향을 최소화하기 위해서 차량 지붕에서 1 m 이상의 거리를 유지하여 측정하였다. 이동국의 송신안테나는 송신전파의 편파각에 따른 수신다이버시티의 의존성을 측정/분석하기 위하여 그림 1에서 처럼 이동국 송신안테나를 수평면에서 90°와 45°의 기울기를 가질 수 있도록 설계하였다.

기지국의 수신단은 다이내믹 레인지가 0 dBuV~80 dBuV인 두 대의 전계강도측정기로 구성되었다. 공간다이버시티와 편파다이버시티의 성능 비교를 위하여 대전에 소재한 SK Telecom 중앙연구원의 시험기지국 간이철탑의 한쪽 섹터에 그림 2에서 보는 것처럼 공간 다이버시티용 안테나와 이중 편파 안테나를 설치하여 정해진 측정경로에서 번갈아가면서 측정결과를 수집하였다. 그림 2의 Rx0와 Rx1사이에는 ±45°의 선형 이중편파 안테나

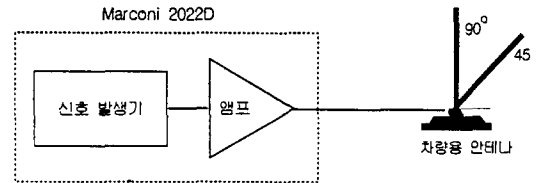


그림 1. 송신장치의 구성

Fig. 1. Blockdiagram of transmitter.

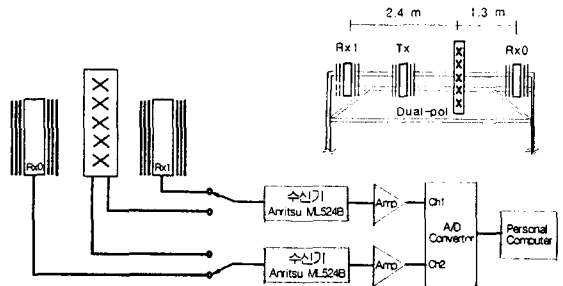


그림 2. 수신장치의 구성

Fig. 2. Blockdiagram of receiver.

가 설치되어 있다. 시험용 이중편파안테나로는 독일의 K사에서 제작한 15.5 dB의 이득과 수평반치각이 65°인 안테나를 사용하였다.

데이터 취득 시스템은 586급 PC와 12비트 A/D 컨버터 및 선행 처리(Post-processing)를 하기 위한 데이터 처리 소프트웨어로 구성되어 있다. 전계강도 수신기로부터의 출력 데이터는 10 kHz의 주파수로 샘플링되어 메모리에 저장되며 곧 바로 수신신호에 대한 통계적 특성분석을 수행할 수 있도록 설계 되어 있다.

2-1 측정환경

측정대상지역은 대전의 연구단지 내에 위치한 SK Telecom 중앙연구원의 시험기지국 주변지역을 대상으로 하였으며 4개의 측정 경로에 대해 공간 다이버시티 및 편파 다이버시티에 대하여 각각 2번씩의 측정을 수행하여 측정의 정확도를 높이도록 하였다. 선택된 측정경로는 교외지역과 주거지역의 특성이 혼합된 지역으로 기지국 근방은 건물

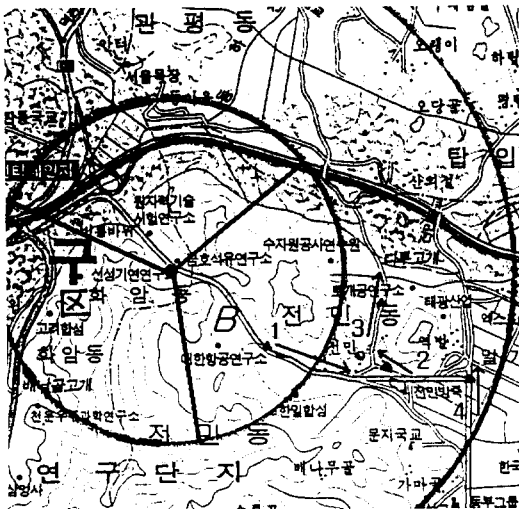


그림 3. 시험 기지국 위치 및 측정 경로 [단위원 : 1 km]

Fig. 3. Location of test site and test routes [Unit circle : 1 km].

이 거의 없고 도로와 낮은 산으로 이루어져 있으며 기지국으로부터 1 km 이후에는 2~3 층 규모의 주택과 상가지역이 형성되어 있다.

기지국안테나는 6층 높이의 건물위 5 m 높이의 간이철탑에 설치되었으며 측정대상지역은 기지국으로부터 낮은 언덕을 넘어선 엑스포 아파트 단지로 향해 있는 β 섹터 지역이다. 4개의 측정 경로 중에서 2개 경로는 기지국으로부터 반지름 방향으로 향하는 종축(Radial) 방향이며, 나머지 2개의 경로는 기지국 수신안테나의 주빔 범위 내에서 원주 방향으로 움직이는 횡축(Transverse) 방향으로 측정지역을 선정하여 두 방향간의 다이버시티 이득의 특성 변화를 분석하였다.

그림 3은 중앙연구원의 시험기지국을 중심으로 한 측정 대상 경로를 보여주고 있다. 경로 1은 대한항공 연구소에서 전민동쪽으로 나 있는 도로를 따라가는 구간으로 도로 주위는 나지막한 산으로 둘러싸여 있고, 주변에는 건물이 없으며, 언덕에서 내려가는 지역이다. 경로 2는 동사무소 뒷쪽의 상가지역으로 2~3층의 식당 및 주택가가 형성되어 있다. 경로 2의 경우는 Quasi-suburban지역에 가까운 주거지역으로 분류될 수 있으며 기지국쪽으로 향하는 종축방향이다. 경로 3은 연구단지 체육공원에서 수자원공사쪽을 향해 내려가는 내리막길로서 수신안테나의 주빔방향에 대해 횡축방향으로 위치해 있다. 경로 4는 엑스포아파트 4단지에서 엑스포 아파트사거리쪽으로 향하는 횡축방향으로서 길 한쪽은 3층내지 5층건물이 밀집해 있고 반대쪽은 대로로부터 50 m 이내는 근린공원지역이며 그 이후는 고층 아파트 밀집지역이다.

2-2 측정방법

측정시의 차량속도는 전 측정구간에서 20~30 km/hr를 유지하였으며, 각 수신채널당 5,000 samples/s의 데이터가 메모리에 저장된다. 측정시간은 측정경로당 7초~10초 정도이며 채널당 35,000~50,000개의 표본 데이터를 수집하였다.

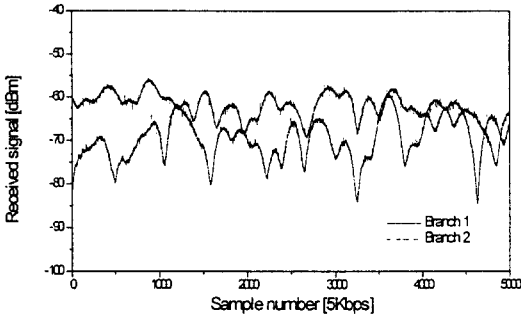


그림 4. 공간 다이버시티의 수신 신호
Fig. 4. Received signal for space diversity.

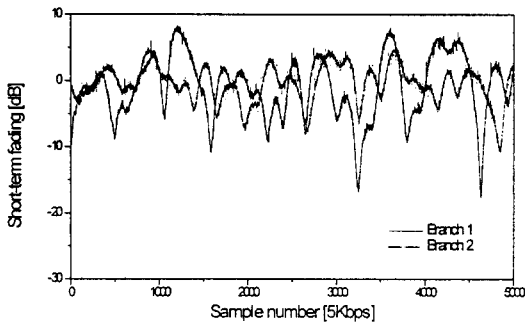


그림 5. 공간 다이버시티 수신 신호의 Short-term fading 성분
Fig. 5. Short-term fading of received signal for space diversity.

그림 4와 5는 각각 공간 다이버시티 수신 구조에서의 수신신호레벨과 그에 대한 단구간 페이딩 성분을 나타내고 있다.

Ⅲ. 다이버시티 이득 및 상관 계수

3-1 다이버시티 이득

공간 다이버시티는 현재의 이동전화 기지국 시스템에 널리 사용되고 있는 방법으로 섹터별로 두개의 수신 안테나를 공간적으로 분리, 설치하여 R x 0 와 R x 1의 수신신호를 합성하는 방식이다. 안테나

의 배열방식으로는 수평배열과 수직배열이 있는데, 수평 공간 다이버시티를 사용할 경우, 수신 안테나 간의 수평 이격거리가 중요하다. 실험적 결과에 의해 통상적으로 두 신호사이의 상관계수가 0.7 이하를 기준으로 하며, 기지국 실효높이가 30~50 m일 때, 8~14 λ(3~5 m)정도를 안테나 이격에 대한 설치 기준으로 권고하고 있다.^[7]

그러나 서두에서도 언급되었듯이 편파 다이버시티는 자동차용 이동전화가 휴대용 이동전화 단말기로 시장이 전환되면서 이에 대한 유용성의 인식과 상용화가 급속하게 이루어지고 있다.

여러가지 다이버시티 기법을 이용하여 수신한 두 채널의 신호를 합성(Combining)하는 방법에 대해서도 많은 연구가 되어져 왔으며, 크게 4가지로 구분할 수 있는데, AMPS에서 이용하고 있는 선택적(Selective) 컴바이닝, 스위칭 컴바이닝, 동일 이득(Equal Gain) 컴바이닝, CDMA에 도입된 최대비(Maximal-Ratio) 컴바이닝 등이 있다.^{[1],[5]} 각 컴바이닝 기법들의 성능은 보통 다이버시티 이득에 의하여 평가 되는데 다이버시티 이득은 주어진 신호의 신뢰도에서 2개의 수신 신호 중에서 평균신호레벨이 높은 신호와 컴바이닝 결과 신호를 비교하여 얻어진 신호레벨의 차이로서, 페이딩 환경에서 페이딩의 개선정도를 평가하는 기준으로 사용된다. 본 논문에서의 다이버시티 이득은 수신 채널 신호의 CDF 분포가 10 % 확률(신호의 신뢰도가 90 %)인 지점을 기준으로 산출되었다.

- 선택적 컴바이닝

$$V_c(t) = \max[V_1(t), V_2(t)]$$

-동일 이득 컴바이닝

$$V_c(t) = \frac{V_1(t) + V_2(t)}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

-최대비 컴바이닝 $V_c(t) = \sqrt{V_1^2(t) + V_2^2(t)}$

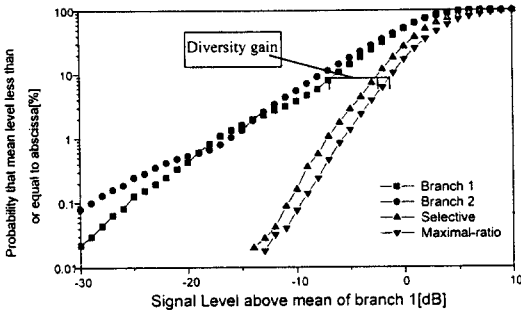


그림 6. 다이버시티 수신 신호와 컴바이닝에 따른 다이버시티 이득

Fig. 6. Received diversity signal and diversity gain through combining.

식 (1)에서 $V_1(t)$ 과 $V_2(t)$ 는 수신 채널 $R \times 0$ 와 $R \times 1$ 의 수신 전압 레벨이고, $V_c(t)$ 는 컴바이닝된 결과를 나타내고 있다.

그림 6은 컴바이닝 기법 중에서 선택적 컴바이닝과 최대비 컴바이닝을 사용하였을 때의 다이버시티 이득을 나타내고 있다. 그림 6에서 선택적 컴바이닝의 다이버시티 이득은 3.9 dB이고, 최대비 컴바이닝의 경우는 5 dB로서 2브랜치(Branch) 다이버시티 구조에서 최대비 컴바이닝이 선택적 컴바이닝보다 1~2 dB 정도의 다이버시티 이득이 높음을 확인할 수 있다.

3-2 상관계수 분석

기지국 수신 안테나에서 수신되는 신호 $r(t)$ 는 식 (2)과 같이 표현되며, 거리와 지형에 따라 수신되는 수신전력의 세기를 나타낸다. 여기에서 $r_o(t)$ 는 단구간 페이딩(Short-term fading) 성분이고 $m(t)$ 는 장구간 페이딩(Long-term fading) 성분이다. 장구간 페이딩 성분은 상향링크(또는 하향링크)시에 수신 안테나와 단말기 사이에서의 지형특성을 반영하는 페이딩 성분으로 기지국 간의 핸드오프(hand-off)를 결정하는 기준으로 사용되는 파라미터이다. 그리고 단구간 페이딩 성분은 기지국

및 단말기의 주위에 있는 건물 또는 장애물 등에 의한 난반사에 의해 생기는 다중경로 현상에 기인한다.

$$r(t) = m(t)r_o(t) \quad (2)$$

수신된 신호간의 상관계수를 계산하기 위해서는 우선 식 (1)의 수신신호로부터 신호간의 상관성이 높은 장구간 페이딩 성분과 단구간 페이딩 성분을 구하기 위해서는 우선 장구간 페이딩 성분을 구해야하는데 이를 위해서 일반적으로 널리 사용되는 이동 창(Sliding window) 방식을 사용하였다.^[2] 데이터 수집시의 차량속도가 20 km/hr~30 km/hr 였으므로 $20 \lambda \sim 40 \lambda$ 내의 이동창의 크기조건을 고려하여 최적 이동창의 크기를 2,500 샘플로 결정하였다.

이렇게 구해진 장구간 페이딩성분에 대해 수신신호를 정규화 하게 되면 원하는 단구간 페이딩(fast-fading) 성분을 구할 수 있다. 구해진 정규화된 단구간 페이딩 성분으로부터 신호간의 상관계수 ρ 는 식 (3)에 의해서 구해질 수 있다.^[1]

$$\rho = \left[\frac{\text{Covariance}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \right] = \frac{\sum_1^N [p_{i1}(t) - \bar{p}_1(t)][p_{i2}(t) - \bar{p}_2(t)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N [p_{i1}(t) - \bar{p}_1(t)]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N [p_{i2}(t) - \bar{p}_2(t)]^2}} \quad (3)$$

$p_{i1}(t)$; i 번째 샘플그룹의 채널 1에 대한 정규화된 신호 전력

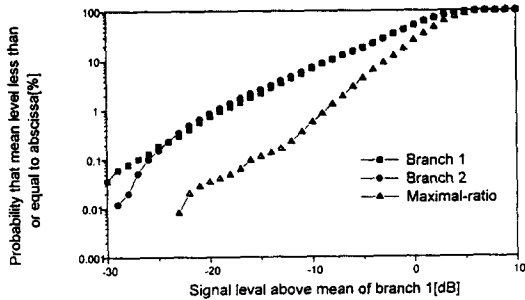
$p_{i2}(t)$; i 번째 샘플그룹의 채널 2에 대한 정규화된 신호 전력

$\bar{p}_1(t), \bar{p}_2(t)$; 샘플그룹내에서 채널 1,2에 대한 각각의 평균값

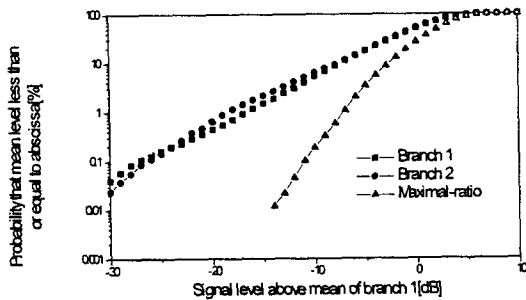
IV. 결과분석

4-1 다이버시티 이득

선택된 4개의 측정경로별로 동일한 조건에서 공간다이버시티와 편파다이버시티의 각각에 대해서 2번씩의 반복적인 측정을 하여 결과를 분석하였다. 다이버시티 이득을 비교하기 위하여 수신신호로부터 누적확률분포함수(CDF)를 구하여 앞서 정의된 것처럼 확률 10%(신호의 신뢰도 90%) 지점에서 컴바이닝된 결과와 비교하여 다이버시티 이득을 구하였다. 그림 7과 그림 8은 경로 4에 대한 측정 결과를 바탕으로 구해진 신호 레벨의 CDF를 보여주고 있다.

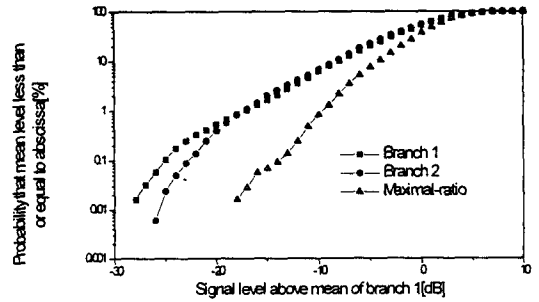


(a) 송신 안테나 45°

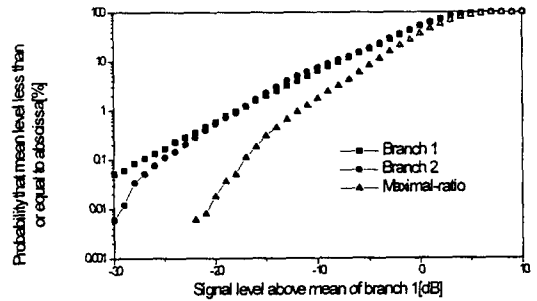


(b) 송신 안테나 90°

그림 7. 경로 4에서의 공간 다이버시티 CDF
Fig. 7. CDF of space diversity at route 4.



(a) 송신 안테나 45°



(b) 송신 안테나 90°

그림 8. 경로 4에서의 편파다이버시티 CDF
Fig. 8. CDF of polarization diversity at route 4.

각 측정 경로에서 이동국 송신 안테나의 송신 각도에 따른 공간 및 편파 다이버시티 이득은 표 1에 나타나 있다.

측정결과로부터 교외지역과 주거지역에서는 송신 안테나의 각도에 상관 없이 편파 다이버시티가 공간 다이버시티보다 1~2 dB 정도 다이버시티 이득의 감소가 있다는 것을 알 수 있다.

편파다이버시티의 경우에는 측정결과로부터 단말기가 45로 송신할 경우가 90로 송신하는 경우보다 다이버시티 이득이 1~2 dB 정도 증가함을 알 수 있다. 즉, 편파다이버시티는 자동차용 이동전화 보다는 휴대용 이동전화 환경에 더욱 적합함을 알 수 있다.

표 1. 각 측정 경로에서 송신 안테나 각도에 따른 다이버시티 이득

Table 1. Diversity gain according to transmitting antenna angle at each test routes.

(a) 기지국의 횡축방향시 다이버시티 이득

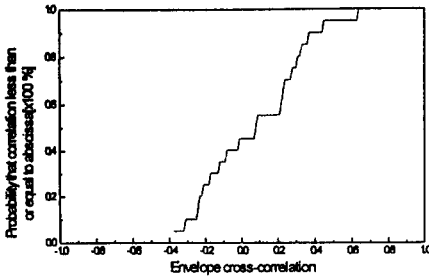
[dB]

	공간 다이버시티				편파 다이버시티			
	경로1		경로 2		경로1		경로 2	
	1 회차	2 회차	1 회차	2 회차	1 회차	2 회차	1 회차	2 회차
송신편파=45°	5	5.9	5.9	6.36	3.18	3.18	5	4.09
송신편파=90°	4.1	3.6	5.45	5.91	3.18	2.95	3.64	3.64

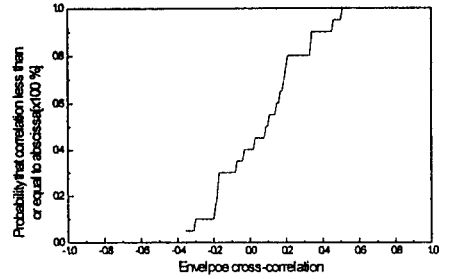
(b) 기지국의 종축 방향시 다이버시티 이득

[dB]

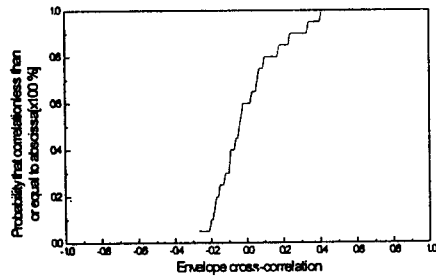
	공간 다이버시티				편파 다이버시티			
	경로1		경로 2		경로1		경로 2	
	1 회차	2 회차	1 회차	2 회차	1 회차	2 회차	1 회차	2 회차
송신편파=45°	6.36	6.36	5	5	4.55	3.78	3.64	4.54
송신편파=90°	5.9	5.9	5.45	5	3.64	4.09	3.18	3.18



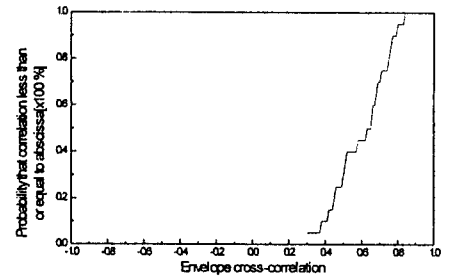
(a) 송신 안테나 45°



(a) 송신 안테나 45°



(b) 송신 안테나 90°



(b) 송신 안테나 90°

그림 9. 경로 4에서의 공간다이버시티의 상호상관 계수 CDF

Fig. 9. Cross correlation coefficient CDF of space diversity at route 4.

그림 10. 경로 4에서의 편파 다이버시티의 상호상관 계수 CDF

Fig. 10. Cross correlation coefficient CDF of polarization diversity at route 4.

4-2 상관계수 분석

그림 9과 그림 10은 공간 다이버시티와 편파 다이버시티 안테나의 두 수신 채널간의 신호상관계수로서 4개의 측정경로 중에서 4번째 경로인 엑스포 사거리를 대상으로 측정된 결과이다.

분석시에 사용된 한 그룹내의 샘플 수는 2400개로 설정하였다.

측정결과 공간 다이버시티의 경우, 송신안테나가 45°로 송신할 경우에 상관계수는 -0.4에서 0.65 사이의 분포를 가지며, 90°로 송신할 경우는 -0.3과 0.45 사이의 분포를 보인다. 따라서 공간 다이버시티의 경우에는 90°로 송신하는 전파환경에서 다이버시티 이득이 커질 가능성이 있다.

또한 편파다이버시티 안테나가 45°로 송신하는 경우에는 상관계수가 -0.4에서 0.5의 분포를 가지며 90°로 송신하는 경우는 0.3에서 0.8의 분포를 나타낸다. 그러므로 ±45° 경사진 편파다이버시티 안테나는 휴대용 전화기를 사용하는 환경에서 보다 높은 다이버시티 이득을 나타낼 가능성이 있음을 알 수 있다.

결론적으로 상호상관계수의 분석결과만으로 미루어 볼 때, 다이버시티 이득은 상호상관계수의 크기가 작을수록 증가하므로 과거의 자동차용 이동전화의 경우에는 공간 다이버시티 구조가 적합하지만, 현재나 미래의 휴대용 단말기가 보편화되는 전파환경에서는 편파 다이버시티가 공간 다이버시티에 버금가는 성능을 나타낼 수 있다. 물론 최종적인 다이버시티 이득을 결정하는 것은 두 수신 채널간의 신호 레벨의 차이와도 밀접한 관련이 있으므로 종합적인 결과는 수신레벨 차의 분포와 상호상관계수와의 관련성을 분석한 후에야 결론지을 수 있다.

V. 결 론

대전지역의 SK Telecom 중앙연구원을 중심으로

로 편파 다이버시티 안테나를 측정된 결과 편파 다이버시티의 경우 다이버시티 이득이 공간 다이버시티 이득보다 1~2 dB 저하되며, 상호상관계수의 분석결과 휴대용 이동전화 환경에서는 편파다이버시티와 공간다이버시티 모두 상관계수가 -0.4에서 0.5사이의 낮은 상관계수 분포를 가지며 두 다이버시티간의 상관계수 값이 ±0.1 정도의 미미한 차이를 가짐을 확인할 수 있었다.

그러나 대전 중앙연구원 시험 기지국의 지리적 환경은 통상적인 주거지역 및 교외지역의 입지를 대표하는 조건은 아니므로 추가적으로 다른 환경의 교외 및 준도시 지역에 대한 분석이 수행되어야 할 것이다.

아울러 다중경로환경에 강점을 가지는 편파 다이버시티 구조의 정확한 특성 파악을 위하여, 실제로 편파안테나의 적용으로 여러가지 부수적인 효과를 얻을 수 있는 도시지역과 마이크로셀 환경에 대한 추가 측정 및 분석도 빠른 시일내에 수행될 필요가 있다.

결론적으로 편파다이버시티 안테나는 교외지역이나 주거지역에서는 다이버시티 특성이 공간 다이버시티에 비하여 크게 개선이 되지 않음을 알 수 있으나 휴대용 이동전화 환경에서는 그 특성이 개선될 여지가 있음을 확인할 수 있었다. 아울러 선형 이중편파 안테나의 상용 기지국에의 사용 가능성도 전파 환경에 따라서 선택적으로 운용가능함을 입증할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. M. D. Turkmani, A. A. Arowojolu, P. A. Jefford, and C. J. Kellett, "An experimental evaluation of the performance of two branch space and polarization diversity schemes at 1800 MHz", *IEEE Trans. on VT.*, vol. 44, no. 2, pp. 318-326, May 1995.
- [2] William C. Y. Lee, "Estimate of local av-

- erage power of a mobile radio signal”, *IEEE Trans on VT.*, vol. VT-34, no. 1, pp. 22-27. Feb. 1985.
- [3] Rodney G. Vaughan, “Polarization diversity in mobile communications”, *IEEE Trans on VT.*, vol. 39, no. 2, pp. 177-186, Aug. 1990.
- [4] F. Adachi, M. T. Feeney, A. g. Williamson, and J. D. Parsons, “Cross-correlation between the envelopes of 900 MHz signals received at a mobile radio base station site,” *IEE Proc.*, vol. 133, Pt.F, no. 6, Oct. 1986.
- [5] W. C. Jakes Ed., *Microwave Mobile Communications*, IEEE Press, 1993.
- [6] William C. Y. Lee, Yu S. Yeh, “Polarization diversity for mobile radio”, *IEEE Trans. on Comm.*, vol. com-20, no. 5, pp. 912-923, Oct. 1972.
- [7] William C. Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc. 1993.
- [8] 임종태, 김성진, 유봉국, 권범, 김생수, 김성우, “셀룰라대역에서의 Two-branch 공간다이버시티와 편파다이버시티의 성능 비교 분석”, *SK Telecom Technical Jour.* no. 65, pp 39-60, Sept. 1997.

임 종 태



1986년 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1993년 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1993년~현재 : SK Telecom 중앙연구원(수석연구원)
 1998년~현재 : 정보통신연구관리단 파견(전파방송기술평가실장)

유 봉 국



1992년 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년~현재 : SK Telecom 중앙연구원 상품고도화그룹 전임연구원

김 성 진



1995년 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1997년 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1997년~현재 : SK Telecom 중앙연구원 상품고도화그룹 전임연구원