

## 제주시 지역 마이크로셀 환경에서의 전파 특성

홍성욱\* · 김홍수\*

### The Radio Wave Propagation Characteristics for Microcell at Cheju City

Seong-Wook Hong\* and Heung-Soo Kim\*

#### ABSTRACT

In the mobile radio communication system, we must study wave propagation characteristics for microcell and picocell environments because the conventional cellular environment is changing to microcell and picocell. In this paper, sample areas are selected to study propagation in variety of environment including the width of road, the built-up density and the height of building at Cheju city area. Sample area is separated two zones by break point at which the slope of the signal strength is changed. The location of the break point is calculated on first Fresnel zone clearance for antenna height variation. The slope and the standard deviation of the signal strength is obtained by the regression analysis. The break point distance can be used to define the size of microcell and to design of microcellular system.

**Key words** : Microcell, Break point, Fresnel zone

#### 1. 서론

통신 기술의 발전으로 개인통신 서비스(personal communications services) 시대가 도래하고 있다. 개인통신 서비스의 종류로는 900MHz대 주파수를 이용한 호출기능 위주의 서비스 제공을 위한 협대역 개인통신 서비스와 1.8GHz~2.2GHz 주파수를 이용한 음성 위주의

서비스를 제공하는 광대역 개인통신 서비스로 분류된다. 개인통신 서비스는 주파수의 효율적인 사용과 경제적이고 작은 크기의 가입자 단위로 더욱 좋은 통신 품질을 제공하기 위하여 마이크로셀 또는 피코셀 시스템으로 구성될 것이다. 따라서 셀 크기를 결정하고 셀간의 신호 간섭 문제를 해소하기 위해 마이크로셀이나 피코셀 시스템 환경의 전파 특성에 관한 연구가 필요하다. 마이크로셀라 시스템에서는 전파 경로가 200m~1000m로서 비교적 짧고, 기지국 안테나는 가로등 높이로 주위 건물보다는 낮다.

\* 제주대학교 통신공학과  
Dept. of Telecommunication Eng., Cheju Nat'l Univ.

그리고 송신 전력은 10mW 정도의 낮은 전력으로 통신이 가능하다. 전파 경로가 짧기 때문에 송·수신기 사이의 가시거리(line-of-sight) 경로상에서 전파 링크 배열이 가능하다<sup>(1)</sup>. 마이크로셀룰라 시스템은 기존의 셀룰라 시스템에 비해 두가지 잇점이 있다. 첫째는 대중교통으로 인한 음영 페이딩(shadow fading)을 제거할 수 있고, 둘째로 전파 신호가 한정되어 제한된 크기의 마이크로셀에 신호를 전송할 수 있다. 또한 낮은 마이크로셀룰라 기지국 안테나는 다중 경로 반사로 인한 페이딩을 줄일 수 있다<sup>(2)</sup>.

비가시거리 경로의 전자파 전파 연구는 교외 지역에 대해 직접파와 반사파 및 장애물의 영향을 고려한 회절파 성분을 이용하여 경로 손실 모델식이 Longley-Rice, CCIR, Okumura 등에 의해 만들어 졌으며, 도심지에 대해서는 건물의 크기, 밀집도등과 같은 인공구조물의 영향을 고려하여 Young, Allsebrook, Okumura, Hata, Akeyama, Ibrahim과 Parsons 등에 의해 손실식이 유도되었다<sup>(3-5)</sup>. 지금도 여러 환경에 대한 예측 모델에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한 셀룰라 시스템에서 비가시거리 경로와 가시거리 경로에 전환점을 측정 파라미터로 사용하여 수신 전력 예측 모델을 제시하였다<sup>(6)</sup>. 가시거리 경로에서의 전파 특성 연구는 여러 환경에 대한 수신 전력 예측과 안테나 높이, 주파수 변화에 따른 마이크로셀룰라 전파 특성을 연구하였다<sup>(7)</sup>.

본 논문에서는 제주시 지역에 대한 마이크로셀 전파 환경을 분석한다. 전파에 영향을 주는 환경적 요인인 도로 폭과 건물 높이, 건물 밀집 분포에 따른 전파 특성을 연구하였다. 제주시 지역에서 도로폭과 건물 높이가 상이한 3개의 표본 환경과 도로폭이 거의 동일한 경우 건물 높이가 다른 3개의 표본 환경에 대한 신호 세기의 변화를 측정하여 최소자승법을 이용하여 비교 분석하였다. 회귀 분석을 통해 구한 회귀 직선 기울기로부터 전파 경로 손실 크기를 구하며, 표준편차로부터는 신호 변화의 폭을 구하여 제주시 지역에서의 마이크로셀 크기를 정하며

시스템 설계시 사용할 수 있다.

## II. 이 론

### 2.1 Two-ray 모델

Two-ray 모델은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 송·수신 안테나의 높이가 각각  $h_1$ ,  $h_2$  인 직접 파와 대지 반사파만을 고려한 모델이다.

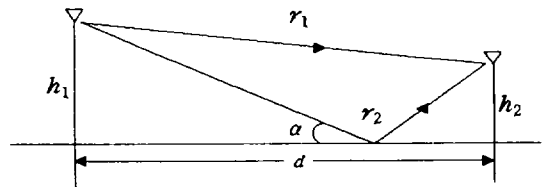


Fig. 1 Two-ray model showing

동방향 안테나에 대한 수신점에서의 수신전력은 다음과 같다.

$$P_r = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi a} \right)^2 |1 + \Gamma(\alpha)e^{j\alpha} + (1 - \Gamma(\alpha))Ae^{j\alpha} + \dots|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 직접파와 대지 반사파만을 고려할 경우 수신 전력은 다음과 같다.

$$P_r = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{1}{r_1} e^{-jkr_1} + \Gamma(\alpha) \frac{1}{r_2} e^{-jkr_2} \right|^2 \quad (2)$$

여기서  $P_t$ 는 송신 전력이고  $P_r$ 는 수신 전력이다. 그리고  $r_1$ 은 송신점으로부터 수신점까지의 직접 길이이고  $r_2$ 는 지면의 반사로 인한 경로의 길이이다.  $\Gamma(\alpha)$ 는 반사 계수이며, 입사각  $\alpha$ 와 편파의 함수로서 다음과 같다.

$$\Gamma(\theta) = \frac{\cos \theta - a\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + a\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \quad (3)$$

여기서  $\theta = 90^\circ - \alpha$ ,  $a$ 는 수직·수평편파에 대해 각각  $1/\epsilon_r$ 과 1이고, 평균 대지에 대해 상대 유전 상수는  $\epsilon_r = 15 - j 60\sigma \lambda$ 이며, 표면의 도전율은 0.005 mho/m이다<sup>(8)</sup>. Fig. 2는 송신출력 1W, 주파수 880.2MHz, 송·수신 안테나의 높이를 각각 6.3m, 1.6m로 하였을 때 대지 반사 계수가 -1인 경우와 수직 편파, 수평편파인 경우에 거리에 따른 수신 전력을 나타낸다. 거리가 먼 경우 입사각은 작으며( $\theta \approx 90^\circ$ ), 수평·수직 편파의 반사 계수는 대략 -1이 된다. 그러나 입사각이 증가할 때 반사 계수는 감소하여 0에 가깝게 된다<sup>(8)</sup>. 따라서 근거리 영역에서 반사 계수가 -1인 경우는 신호의 변동과 크기는 매우 크게 나타난다. 반사 계수의 절대치는 수직 편파의 값보다 수평편파에서가 크기 때문에 수직 편파에 대한 신호는 수평편파보다 매우 작게 변화한다.

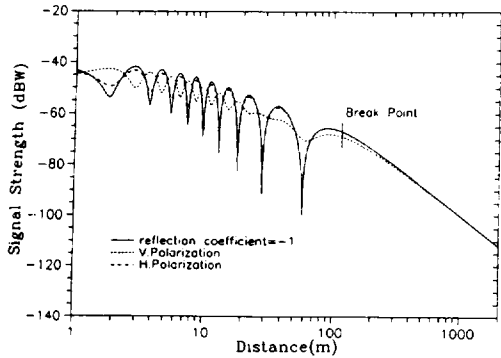


Fig. 2 The receiving power for antenna pattern

## 2.2 회귀 분석

회귀 분석은 대응하는 2개의 변수 사이에서 1차 함수의 관계를 이용하여 1차 함수의 두 미지수를 최소 자승법에 의해 구하는 방법이다. 여기서 랜덤변수는 송신점으로부터 수신점까지 대수거리와 수신 전력으로 이 두 변수로 부터 회귀 관계를 결정하게 된다.

Fig. 3은 송신출력 1W, 주파수 880.2MHz, 송·수신 안테나 높이를 각각 4.44m, 1.6m로 하였을 때의 이론적인 결과이다. 적용범위 내의

모든 데이터는 편차의 정도를 최소화 하고 일정한 기울기를 갖는 두 직선으로 나타낼 수 있다. 두 직선의 분기점은 전환점에 의해 구분되는 것이며 전체 데이터를 두 부분집합으로 나눈다. 전환점 이전 위치에서의 전파 신호는 직접파와 반사파의 합성으로 심하게 진동하며, 전환점 이후 위치에서는 거리에 대하여 급격히 감소한다.

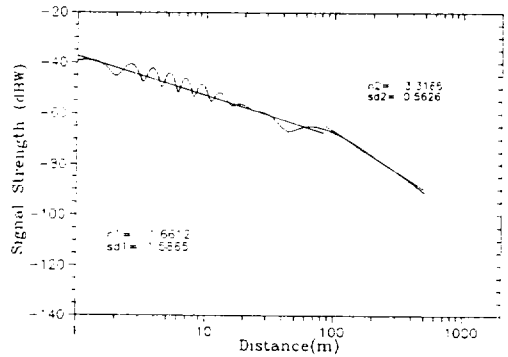


Fig. 3 Regression fit to the two-ray model

프레넬 영역은 송·수신 안테나를 초점으로 하는 타원체로서 정의된다. 송신 안테나로부터 타원체의 한점을 거쳐 수신 안테나에 도달하는 거리는 두 안테나 사이의 직선경로보다  $\lambda/2$  크다. 전환점은 1차 프레넬 영역이 차단되는 지면에 대하여 안테나 사이의 거리로서 정의되며 프레넬영역 클리어런스과 관련하여 구할 수 있다. 전파경로가 1차 프레넬 영역 클리어런스에 있을 때 거리가 먼 지점에 신호 감쇠의 주 원인은 파면 확산이다. 그러나 1차 프레넬 영역 클리어런스가 차단될때 파면 확산 이외의 감쇠는 1차 프레넬 영역 차단으로 부터 생기며 그 결과 전환점 이후 영역에서는 가파른 경로 손실 기울기를 보인다.

경로 손실 정도를 나타내는 회귀 직선 기울기는 동방성 안테나일때 전환점 이전 영역에서 2에 가까운 크기로 완만하게 감소하는 기울기를 갖는다. 그러나 송신 안테나 근처에서는 송·수신 안테나의 수직 상재로 인한 수직 안테나 패턴과 안테나간의 오프셋(offset), 입사각의 함수

인 지면 반사 계수의 변화에 의해 많은 영향을 받는다. 수직 편파의 경우 브루스터 각 (Brewster's angle)에 상응하는 범위보다 큰 거리에서 반사 계수의 크기는 0에서 1로 증가한다<sup>(8)</sup>. 그러므로 대지 반사에 의한 영향은 거리에 따라 증가한다. 이 세 가지 인자로 인해 가까운 거리에서는 신호를 감소시키며 보다 먼 거리에서는 증가시킨다.

1차 프레넬 영역이 지면에 접할때의 수평 거리 d는 다음과 같다.

$$d \approx \frac{1}{\lambda} \sqrt{(\Sigma^2 - \Delta^2)^2 - 2(\Sigma^2 + \Delta^2)(\frac{\lambda}{2})^2 + (\frac{\lambda}{2})^4} \quad (4)$$

여기서  $\Sigma$ 는 송·수신 안테나 높이의 합이고  $\Delta$ 는 송·수신 안테나 높이의 차이다. 높은 주파수에서 식 (4)는 안테나 높이와 파장의 함수로 다음과 같은 근사식으로 쓸 수 있다.

$$d \approx \frac{4h_1h_2}{\lambda} \quad (5)$$

전환점 위치는 식 (5)로 부터 구해지며, 전환점 이내의 영역에서 전파 신호는 지면으로 부터 반사된 파로 인해 전파 세기가 심한 변화를 보이지만 상대적으로 완만한 기울기를 갖는다. 전환점 이후 영역에서의 전파 신호는 매우 가파른 기울기에 의해 감소한다.

### III. 재료 및 방법

측정시스템은 송신차량과 수신차량으로 구성하였다. 송신차량에는 송신 안테나 높이를 조절할 수 있도록 삼각대와 폴대를 차량위에 설치하였고 다이폴 안테나, 소형 송신기와 소형 발전기를 탑재 하였다. 수신차량에는 주파수 범위가 140MHz에서 1000MHz인 수신기와 다이폴 안테나, GPIB 카드를 장착한 퍼스널 컴퓨터와 소형 발전기로 구성하였다. 송신 안테나 높이는 6.3m, 4.44m이며, 수신 안테나는 1.6m로 고정하였고

송신 주파수는 880.2 MHz로 200m에서 500m 사이의 이동거리를 두어 측정하였다.

다양한 환경에서 가시거리 전파 측정을 하기 위하여 Table 1과 같이 표본지역을 선정하였다.

Table 1 Measured environments in Cheju

	height of building	width of road
sample area 1	none	22 m
sample area 2	3 m~10 m	27 m
sample area 3	6.5 m~16.5 m	30 m
sample area 4	10 m~20 m	20 m
sample area 5	6.5 m~10 m	24 m
sample area 6	10 m~13.5 m	24 m
sample area 7	13.5 m~16.5 m	20 m

모든 환경의 가시거리 경로상에서 거리에 대한 신호 세기의 변동은 근거리와 원거리 영역으로 나눌 수 있으며 이들 영역은 전환점에 의해 분리된다. 이 전환점은 1차 프레넬 영역 클리어런스를 갖는 최대거리이다. 근거리 영역에서는 송신점에서 전환점까지의 데이터를 적용하며, 원거리 영역에서는 전환점 이후의 데이터를 적용하였다. 전체 데이터는 고차 최소자승법을 이용하여 가장 적합한 방정식을 구하였다. 각 영역의 데이터들은 회귀 분석에 의해 신호 강도의 평균과 표준편차를 계산하였고 거리에 따른 감소 정도를 기울기로 나타내었으며, 전환점 이후의 기울기는 전환점 이전의 기울기보다 상대적으로 큰 값을 갖는다. 이것은 원거리 영역에서 더 많은 전파 경로 손실이 있다는 것을 의미한다. 그러므로 전환점 까지의 거리는 마이크로셀의 크기를 결정하는 중요한 변수이다. 비가시거리 경로 전파는 도심 외각 지역의 경우 건물의 지붕 혹은 도심지의 거리 모퉁이 주위에서 발생되며 보다 큰 전파 경로 손실을 보인다.

Fig. 4는 시골(rural) 환경과 유사한 표본지역 1(제주시 이도지구)에서 안테나 높이를 4.44m로

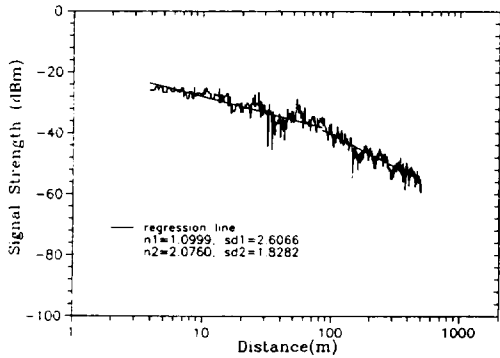


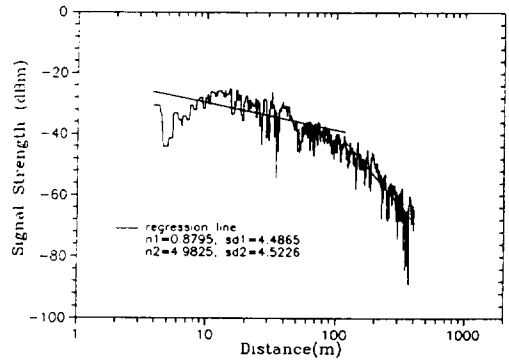
Fig. 4 Composite curves for LOS path (sample area 1)

하였을때의 측정 신호 세기 변화이다. 전환점 이내 영역에서 기울기 지수는 1.1로 작은 경로 손실을 보이나 신호 세기 변화인 표준편차는 2.6dB로 페이딩이 일어났다. 한편 전환점 이후 영역에서는 1.8dB의 표준편차로 전환점 이전 영역보다 작게 변화하였다. 일부분 거리에서 불규칙한 신호 세기의 변화는 빈번한 차량 통행에 의한 변화로 추측된다.

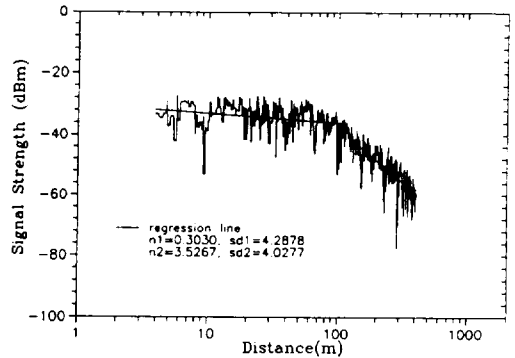
#### IV. 결과 및 고찰

Fig. 5는 표본지역 2, 4에 대한 가시거리 합성 신호 곡선으로 각 영역에 대한 회귀 직선은 측정치에 대하여 기울기 지수  $n$ 과 표준편차로 분석하였다. 10m 이내에서 신호 감소는 송·수신 안테나의 수직 안테나 패턴과 안테나간의 오프셋(offset) 그리고 지면 반사계수의 변화로 생겼다. 신호 세기는 불규칙한 건물 높이 분포에 의해 일부분의 거리에서 큰 변화를 보였으나 일정한 감소 크기를 갖는 두 영역으로 구분된다.

Fig. 6은 표본지역 2, 3, 4에 대한 측정 결과이며 전환점 이전 영역에서 기울기 지수  $n$ 을 비교해 보면 표본지역 4에서는 표본지역 2, 3에 비해 상대적으로 작은 값을 가졌다. 이것은 표본지역 2, 3에 비해 도로폭이 좁으며, 주위의 건물들이 밀집되어 있어 건물 반사파에 의한 영향으로 추측할 수 있다. 표본지역 3에서는 표본지



(a) sample area 2



(b) sample area 4

Fig. 5 Composite curves for LOS path

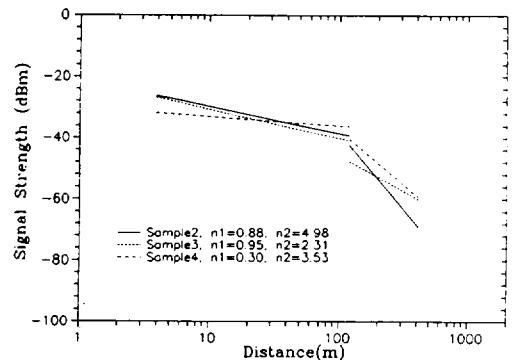


Fig. 6 Regression comparison for LOS measurements in different environments

역 2에 비해 건물의 높이가 높게 분포되었지만 결과는 비슷하다. 표준 편차는 표본지역 1에서

볼때 전환점 이전 영역에서는 이후 영역보다 큰 값을 가졌지만 표본지역 2, 3, 4에서는 이와 반대로 전환점 이후 영역에서가 크다. 이는 다중 경로 페이딩으로 인한 영향이다. 표본지역 2, 3, 4에 대한 가시거리 측정에서 나타낸 기울기 지수는 근거리 영역보다 원거리 영역에서가 크다. 이것은 전환점을 기준으로 하여 경로손실이 눈에 띄게 증가함을 알 수 있어 셀 반경을 구하는데 이용될 수 있다.

Fig. 7은 표본지역 5, 6, 7에 대한 측정 결과이며 표본지역 2, 3의 결과가 비슷하게 나타나는 현상을 확인하기 위해 건물 높이가 다른 환경에서 측정하였다. 전환점 이전 영역에서 기울기 지수  $n$ 을 비교해 보면 표본지역 5, 6, 7에서의 결과는 거의 일치한다. 이것은 표본지역 2, 3에서 얻은 결과를 토대로 도로폭과 건물의 밀집 정도에 따라 전파 강도의 감쇠 크기를 예측할 수 있다.

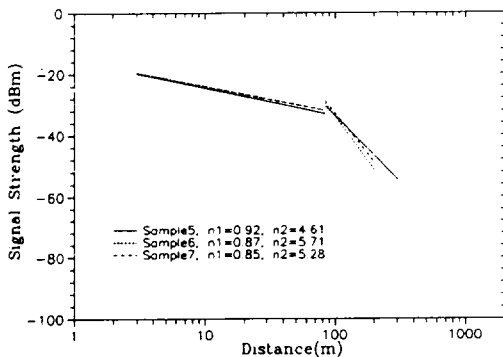


Fig. 7 Regression comparison for LOS measurements in different environments

식 (5)에서 알 수 있듯이 평탄한 지형의 가시거리 전파 경로에서 1차 프레넬 영역 전환점 거리는 송신 안테나 높이의 선형 함수이다. 지구 곡 안테나 높이는 인접 셀에 대한 간섭을 방지하고 전파 신호 적용범위를 정하는 PCS 시스템 설계에 있어서 중요한 인자이다.

셀 반경 내에서는 경로손실이 거의 없기 때문에 낮은 송신 전력을 사용할 수 있다. 셀 반경

외에서의 전파 신호는 빠르게 감소하기 때문에 높은 기울기 지수를 갖게 되며, 이것은 인접 셀과의 상호 간섭 혹은 동일 대역에서 다른 지역 사용자를 제한하는 자연적인 전파 장벽으로 비유될 수 있다.

## V. 결 론

제주시 지역에서 마이크로셀룰라 전파 환경을 분석하기 위하여 프레넬 영역 클리어런스를 기초로하여 전환점을 구하였고, 이것을 기준으로 가시거리 신호 세기를 두 영역으로 나누어 회귀 분석으로 각 영역의 전파 감쇠 정도를 구하였다. 전환점으로 정의된 셀 경계 안에서 경로 손실은 매우 적으며, 셀 경계 밖에서 전파 신호의 세기는 거리에 대해 급격히 감소하였다.

제주시 지역에 대해 측정된 결과 송신기로부터 전환점까지의 거리는 이론치에서 약 10m 정도의 차이가 있었으며, 전환점 내의 회귀 직선 기울기는 건물들의 밀집도, 도로폭에 따라 차이를 보였으며 건물의 높이는 감쇠 정도에 영향을 주지 않았다. 건물이 없고 평탄한 지형의 경우 표준편차는 전환점 내의 영역에서 바깥쪽 영역보다 큰 값을 가졌지만 건물이 있는 환경에서는 이와 반대로 바깥쪽 영역에서 큰 수치를 가졌다. 이것은 직접파와 대지 반사파만을 고려한 이론식과는 달리 도심지 환경에서는 다중경로 전파에 의한 페이딩 영향으로 볼 수 있다. 앞으로 가시거리 마이크로셀 환경에서 다중경로 반사파를 고려한 정확한 전환점 거리를 산출하고 전계 강도를 예측하는데 있다.

## 참고문헌

1. Lee, W. C. Y., 1989, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, New York.
2. Steele, R. and Prabhu, V. K., 1985, High-user-density digital cellular mobile radio systems, *Proc. IEE, Pt. F*, 132, No. 5, pp. 396-404.

3. Parsons, J. D., 1992, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley, New York.
4. Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T. and Fukuda, K., 1968, Field strength and Its variability in VHF and UHF Land Mobile Radio Service, *Elec. Comm. Lab.*, Vol. 16, pp. 825-873.
5. Hata, M., 1980, Empirical formula for propagation loss in land-mobile radio services, *IEEE trans. Vehicular Tech.*, Vol. 29, pp. 317-325.
6. 송기홍, 이동두, 감영권, 이혁재, 1995, 대도시 지역에서의 이동전파신호에 대한 수신전력예측 모델, *한국통신학회지*, Vol. 20, No. 2, pp. 759-769.
7. Xia, H. H., Bertoni, H. L., Maciel, L. R., Lindsay-Stewart, A. and Rowe, R. 1993, Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. 41, No. 10, pp. 1439-1447.
8. Jakes, W. C., 1974, *Microwave Mobile Communications*, Wiley, New York.