論文 96-21-9-17

도심 마이크로셀에서의 무선 전파지연 특성에 관한 실험적 분석

正會員 박 시 우*, 곽 우 영**, 박 진 우***

Experimental Analysis of Radio Propagation Delay Characteristics in Urban Microcells

Si Woo Park*, Woo Young Kwak**, Jinwoo Park*** *Regular Members*

요 약

본 연구는 도심 마이크로셀에서의 2 GHz 무선전파의 전파특성을 측정하기 위하여 구성한 확산대역 측정시스템과 실제 환경에서의 실측 데이터의 분석결과를 기술하고 있다. 측정환경은 LOS(line of sight)와 N-LOS(non LOS)로 구분하여 전송거리에 따른 평균과도지연, RMS 지연확산, 그리고 수신 최대전력의 변화를 측정하였으며, 특히 안테나의 기울기에 따른 영향을 측정하였다. 서울의 특정지역을 대상으로 실험한 결과에서, LOS지역에서 평균초과지연은 300-600 nsec, 평균RMS 지연확산은 약 75 nsec로 측정되었으며 N-LOS지역에서는 평균초과지연이 270-780 nsec 그리고 평균RMS 지연확산은 약 100 nsec로 측정되었다. 송신안테나를 기울였을 때에 일반적인 예측대로 RMS 지연확산이 증가하나, N-LOS에서 수신전력이 증가함을 관측할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper describes about the spread spectrum radio measurement system and the experimental analyses of 2 GHz radio wave propagation characteristics in urban microcells. The experiments are carried out with respect to the mean excess delay, the RMS delay spread, and the received maximum peak power in the two kinds of geographical areas, LOS area and N-LOS area, especially whose variations are observed while varying the transmission distance and tilting the transmitting antenna. The typical results obtained in particular urban sites in Seoul are

* 한솔 PCS 주식회사
Hansol Research Institute of Telecommunications
** LG 전자 통신기 연구소 책임연구원

*** 고려대학교 전자공학과
Department of Electronics Engineering, Korea University
論文番號:96147-0511
接受日字:1996年 5月 11日

300-600 nsec of mean excess delay and about 75 nsec of averaged RMS delay spread for LOS area, and 270-780 nsec of mean excess delay and about 100 nsec for N-LOS area. With the transmitting antenna tilted, observed in the experiments are increase in RMS delay spread as expected, but increase of the received power at N-LOS areas in particular.

Ⅰ. 서 론

무선통신 서비스의 보편성을 추구하는 PCS는 셀룰라 전화에 비해 훨씬 큰 가입자 밀도를 가지게 되며, 가입자 밀도를 높이기 위한 가장 원천적인 방법이 마이크로 셀(micro cell)의 도입이다. 그러나 무선전파의 전파특성을 이용하여 최소 서비스 영역을 제한하기 위해서는 기지국 안테나의 높이가 낮아지고, 따라서 셀 내의 전파 환경은 마이크로셀의 모양을 결정한다. 즉 전파전송의 원리에 입각한 해당 특정지역의 자연적 그리고 인위적 환경의 조건과 예측 서비스 수용자의 규모에 따른 제공 회선 수의 규모에 따라 셀이 설계된다. 따라서 효율적인 PCS 서비스를 위해서 서비스 실시지역의 무선 전파환경, 즉 전파채널 특성에 대한 정확한 이해가 필수적임은 널리 인식되어 왔으나, 실제에 있어서 국부적 전파환경에서의 전파거동은 매우 시변적이며 또한 예측하기 어려운 문제로 남아있다[1].

본 연구에서는 국내 PCS 서비스를 계획하고 있는 현시점에서 우리 나라의 자연적 그리고 인공적 요소를 고려한 도심지역에서의 무선채널 전파특성을 측정하고 분석하였다. 연구의 방법은 WARC-92에서 제시된 2 GHz 무선전파의 전파거동을 측정하기 위하여 대역 확산방식을 기반으로 한 측정시스템을 설계 구현하였고 LOS(Line-Of-Sight) 및 N-LOS(Non Line-Of-Sight) 전파환경으로 분류하여 두가지 경우의 실제 환경에서 측정실험을 실시하였다. 본 연구의 실험 분석 대상으로 한 전파거동 매개변수로는 기본적인 전파특성 변수로서의 전파손실 그리고 디지탈 전송의 성능평가 매개변수인 평균과도지연(mean excess delay)과 RMS 지연확산(RMS delay spread)을 선택하였다[3].

본 논문에서 사용한 무선채널 측정시스템은 PN 코드의 클럭 주파수가 40 MHz로써 다중경로 분해능은 7.5 m이며, 측정 가능한 최대 지연거리가 15.35 km인 슬라이딩 상관(sliding correlation) 기법을 이용한 대역확산 송수신 방식으로 구현하였다. 무선채널의 측정은 2 GHz에서 LOS와 N-LOS 환경의 전파특성을 안테나 기울기에 따른 채널 매개변수의 변화와 수신신호 세기에 미치는 영향을 분석하기 위하여 PCS 환경에서의 무선채널특성을 측정하였다.

본 연구의 측정결과는 1994년과 1995년 여름과 가을에 걸쳐 서로 다른 2개 지역의 전파환경하에서 수집된 약 1,500 여개의 수신 전력지연 프로파일로부터 통계적으로 평균한 결과로 나타내었다.

Ⅱ. 다중경로 채널모델 및 무선채널 측정 시스템

2.1 무선채널 임펄스응답

본 절에서는 시간에 따라 변하는 필터(time varying filter) 개념을 도입한 다중경로 채널의 임펄스 응답 모델을 고려한다.

x(t)는 송신파형, y(t)는 수신된 파형을 그리고 무선전송에서 다중경로 채널은 임펄스 응답 h(t)에 의해 특징지어 진다고 가정한다. 수신된 신호 y(t)는 송신 신호 x(t)가 감쇄되고 시간지연된 신호형태로 표현된다. 따라서 이산적인 채널모델에서 수신된 신호는 송신된 신호가 여러 경로를 거쳐 수신기에 도달되며 각 경로를 전파하는 신호는 각각 서로 다른 감쇄와 시간적 지연에 따른 위상의 변이(shift)를 갖게 되고, 이들의 합은 다음의 식에서와 같이 수신신호를 구성한다[1][2].

$$y(t)=\sum_{k}\alpha_k(t)\,x(t-\tau_k(t)) \qquad (1)$$

식(1)의 수신 신호는 시간 t와 초과지연 τ_k의 함수이다. 각 임펄스 채널응답의 순간파형이 측정 구간에 걸쳐 시불변 무작위라고 가정하면 측정된 α_k와 τ_k는 무작위 시간변수이며, 식(1)은 송·수신기 그리고 주위의 산란 물체의 공간적 위치에 따른 함수이다. 이러한 사실을 이용하면 임펄스 응답은 다음과 같이 주어진다.

$$h(t)=\sum_k \alpha_k \delta(t-\tau_k) \tag{2}$$

여기서 $\delta(\cdot)$는 단위(unit) 임펄스응답 함수이며, τ_0는 처음으로 관측한 펄스의 도착시간이다. 기저대역 신호의 펄스 폭 T_{bb}를 가진 $x(t)=Re[p(t)e^{j2\pi f_c t}]$ 형태의 송신신호를 가정하는 경우에 채널 출력신호는 다음의 식에서 보는 바와 같이 입력신호와 채널 임펄스 응답의 컨볼루션(convolution)으로 구할 수 있다.

$$y(t)=\int_{-\infty}^{\infty} x(s)\,h(t-s)\,ds = Re[r(t)e^{j2\pi f_c t}] \tag{3}$$

또한 기저대역 신호의 채널임펄스 응답을 평가하기 위한 수신된 신호의 복소(complex) 포락선은

$$r(t)=\sum_k \alpha_k e^{-j\Theta_k} p(t-\tau_k) \tag{4}$$

으로 나타내어진다. 이때 저역등가 채널(low pass equivalent channel)의 임펄스 응답 $h_b(t)$는

$$h_b(t)=\sum_k \alpha_k e^{-j\Theta_k} \delta(t-\tau_k) \tag{5}$$

으로 주어진다. 식(5)에서 α_k는 진폭의 감쇠성분을, $e^{-j\Theta_k}$는 전파시간에 의한 선형 위상 변화를 나타내며, 그리고 τ_k는 k번째 다중경로 성분의 시간지연을 나타낸다. 부가적인 위상 변이는 다중경로 전파 신호의 반사, 회절 및 산란에 의해 야기된다. RF 캐리어에 의해 변조된 펄스 폭 T_{bb}인 신호에 대하여, 저역등가 신호의 출력은 임펄스 응답 $h_b(t)$로 근사화된다.

θ_k가 선형 위상을 나타낸다고 하고 식(4)에 무작위 위상을 더하여 각각의 다중경로 전파전파 신호에 대한 전력 지연 프로파일(power delay profile)을 구하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$|r(t)|^2 = r(t)r(t)^* = Re[\sum_j \sum_k \alpha_j \alpha_k p(t-\tau_j)p(t-\tau_k)e^{-j(\theta_j-\theta_k)}] \tag{6}$$

만일 모든 $j\neq k$ 인 경우에 $|\tau_j-\tau_k|>T_{bb}$ 그리고 $\alpha_j \doteqdot \alpha_k$이면 식 (6)은 식 (7)과 같이 간략화 될 수 있다.

$$|r(t)|^2=\sum_k \alpha^2 p^2(t-\tau_k) \tag{7}$$

이는 전력지연 프로파일의 측정이 Tbb의 시간에 대하여 다중경로가 도착하는 경로길이 제한에 대한 정보를 가지고 있음을 의미한다. 만일 $|\tau_j-\tau_k|<T_{bb}$의 경우 다중경로를 전파전파한 반사, 회절 및 산란 등에 의해 도착된 신호는 겹치고 다중경로 성분을 형성하는 분해할수 없는 sub-path가 존재한다고 가정되어질 수 있다. 따라서 식(7)에서 $|r(t)|^2$은 다중경로 전파전파 신호에 대한 전력지연 프로파일을 나타내게 된다.

2.2 무선채널 매개변수

평균 과도지연, RMS 지연확산 및 초과 지연확산은 전력지연 프로파일에서 결정되어지는 시간 분산 채널 매개변수이며, 다음에 간단히 설명한다.

2.2.1 평균과도지연 (mean excess delay)

광대역 다중경로 채널의 시간 분산 성질은 평균 지연확산(τ)과 RMS 지연확산 σ_τ에 의해 수량화된다[3][4][5][6]. 평균 지연확산은 전력지연 프로파일의 일차 모멘트(first moment)이고 다음처럼 정의된다.

$$\tau=\sum_k \alpha_k^2 \tau_k / G_r \tag{8}$$

여기서 $G_r=\sum_k \alpha_k^2$이다. 이동 단말기의 움직임에 따른 평균과도지연의 변화는 시간지연 지터(time delay jitter)의 원인이며 비트오류를 발생시키는 원인이기도 하다[7][8].

2.2.2 RMS 지연확산(RMS delay spread)

RMS 지연확산은 전력지연 프로파일의 이차 중심 모멘트(second central moment)로서 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_\tau=\sqrt{\overline{\tau^2}-\tau^2} \tag{9}$$

여기서 $\overline{\tau^2}=\sum_k \alpha_k^2 \tau_k^2 / G_r$이다. 식 (8)과 (9)에서 프로파일 각각의 지연은 $\tau_0=0$에 도착한 신호에 대해 상대적으로 측정된다. G_r은 주어진 프로파일의 snapshot에 대해 수신된 전력의 상대적 측정이다.

2.2.3 초과지연 확산(excess delay spread)

채널의 초과지연 확산은 $\tau_X - \tau_0$로 정의되며, 여기서 τ_0는 처음 도착 신호이고 τ_X는 다중경로 도착 신호 중 가장 강한 XdB 내의 다중경로 요소의 최대 지연이다. 초과 지연 확산은 TDMA 시스템을 위한 등화기 설계 및 CDMA 시스템을 위한 수신기 설계, 그리고 성능 분석에 중요한 다중경로의 범위를 정의한다.

2.3 대역확산 무선채널 측정 시스템

다중경로 무선채널 측정에는 PN(Pseudo Noise) 코드의 자기 상관특성을 이용한 SC(Sliding Correlator) 측정방법이 매우 유리하다. 즉, 송신측에서 PN 코드를 송신하고 수신측에서 이를 동일한 PN 코드와 시간지연을 두고 상관을 취하면 결과로서 얻게되는 자기상관함수는 다중경로 채널를 거쳐 서로 다른 지연시간에서 수신되는 신호들의 지연분포특성을 나타내는 점을 이용하는 방법이다[10-12].

이 방법의 장점은, 첫째로 낮은 데이타 샘플링 율로 높은 해상도의 시간 지연 측정이 가능하고, 둘째로 확산대역시스템이 가지는 높은 동적 영역(dynamic range)에 의해 주변으로 부터의 혼입잡음의 영향을 감소시킴으로써 측정 성능이 향상되며, 셋째로 다양한 전파특성 측정이 가능하다는 점이다.

본 연구에서 사용된 송수신 장치는 2GHz 대역에서 동작하는 무선신호의 채널임펄스 응답특성, 각각의 전파경로에 대한 시간지연, RMS 지연확산 및 수신전력 레벨 등을 분석하고자 구현되었다. 그림 1은 본 연구에서 구현된 무선채널 측정 송수신 시스템이며, 40MHz의 클럭에 의해 발생된 PN부호는 2 GHz의 캐리어 신호와 믹서(mixer)에서 혼합된다. 송신 신호는 전력증폭기에 의해 증폭되고, 전력증폭기(power am-

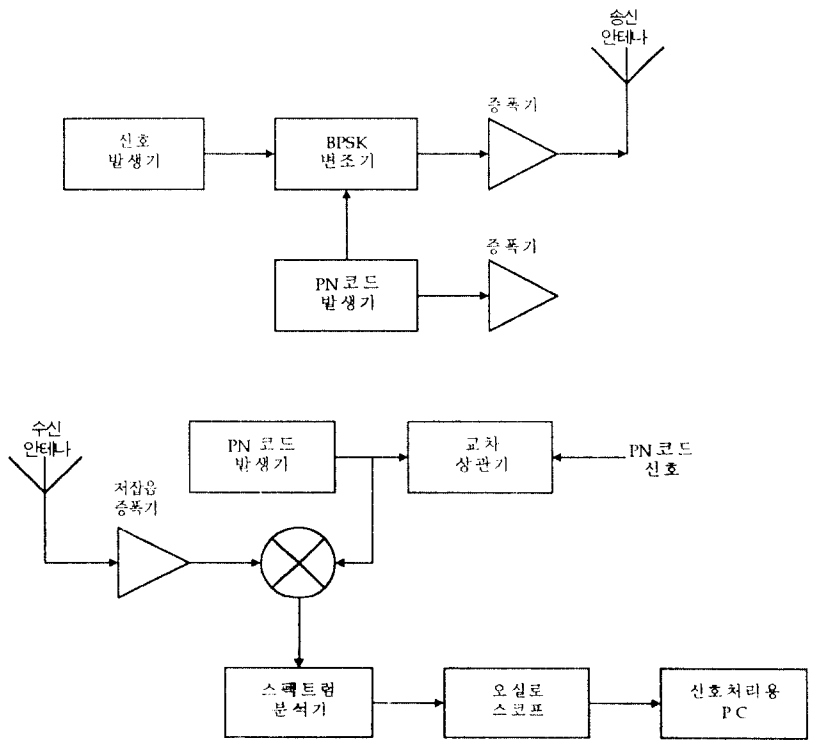


그림 1. 대역확산 방식에 기초한 무선채널 측정시스템

Fig. 1 Radio Measurement System for Wireless Channel Characteristic Measurements Based on Spread Spectrum Method

plifier)를 거쳐 송신 안테나를 통해 자유공간을 전파하고 다중경로를 거쳐 수신기에 도달한다. 이때 송신 신호는 송신기에서 사용된 4kHz 옵셋(offset) 되어진 동일한 PN 부호를 사용하여 λ/4 모노폴 안테나에 의해 수신되어 수신기에서 상관과정을 거쳐 컴퓨터에 의한 신호처리 단계로 이전되어 식(8)과 (9)에 의해 전파지연 매개변수를 측정하게 된다. 본 연구에서 사용한 송신안테나는 이득이 12dB 반치폭이 120도인 코리니어(Collinear) 방향성 안테나이다.

이 때 PN 코드의 지연시간은 송수신 PN 코드 클럭의 주파수 차에 의해 계속적으로 미끄러지듯(sliding) 변화되므로 최종적으로 얻어지는 상관함수의 파형은 채널의 지연특성을 임펄스응답 함수를 대표하게 된다. 이 상관파형의 수치 데이타는 컴퓨터에 저장되어 데이타 처리를 한 후에 다중경로 지연특성 파라미터를 통계적으로 분석한다.

본 연구에서는 도심의 마이크로셀에서 무선 전파전파 신호의 지연특성을 측정시 상대적 지연신호간 분해를 가능하게 하기 위하여 PN 코드의 클럭 주파수가 40 MHz인 장치를 구성하였다. 이러한 측정 시스템의 성능을 결정짓는 가장 중요한 요소로는 다중경로 분해능(multipath resolution)과 동적 영역(dynamic range)을 들 수 있다. 다중경로 분해능은 PN 코드의 클럭 주파수에 의해 정해지는 사항으로 구별 가능한 다중경로 성분의 최소 경로 차를 말한다. 즉 PN 코드의 클럭 주파수가 fc라고 하면 다중경로 분해능은 C/fc로 나타난다(C는 광속). 예를 들어 PN 코드의 클럭 주파수가 40 MHz라면 한 펄스의 폭이 25nsec가 되어 다중경로 분해능은 7.5m가 되므로 신호간 다중경로 지연차가 거리로 7.5m 이상이 되면 신호간 구별이 가능하다.

동적 영역은 수신된 PN 코드의 자기상관 결과로 얻어지는 최대 상관값에 대한 부상관값의 비에 의해 결정되는 것으로 PN 코드의 주기와 수신 시스템의 잡음지수(noise figure) 등의 성능에 따라 결정되는 요소이다. PN 코드의 길이(N)가 2047인 것을 사용하면 이론적인 동적 영역은 66 dB가 되지만 실제로는 수신기의 성능에 따라 이보다 작게 될 수 있다. 또 이 N 값과 PN 코드의 발생시간에 의해 측정 가능한 가장 긴 지연신호 성분의 도달 시간이 결정되는데, 위에서와 같이 N = 2047이고 t = 25nsec라면 지연 측정 가능 시간은 약 51.2us가 된다. 즉 이 시스템은 51.2us 이상의 지연을 가진 다중경로 신호는 수신 신호의 지연 프로파일에 영향을 주지 못하며, 거리로는 약 15.35km 이상의 경로차를 가지고 도착한 전파전파 신호는 수신하지 못하게 된다.

Ⅲ. 무선채널 측정 및 분석

본 장에서는 2 GHz 대역에서 마이크로셀 내에서 전파지연 특성을 측정하기 위하여 안테나를 기울였을 때와 기울이지 않은 경우 LOS와 N-LOS 환경에서 수신 신호세기와 전파지연 특성에 대한 무선채널 매개변수를 측정 분석하였다.

3.1 측정지의 전파환경

본 실험은 서울시 성북구의 안암 사거리 부근에서 이루어졌으며, 측정실험이 수행된 장소는 상가지역의 소규모 십자도로로 구체적인 지적도는 그림 2에 보이고 있다. 도로변 양측에 위치한 건물들은 4층에서 7층까지의 높이로 유사한 외형과 구조를 갖고 있다. 또한 모든 도로중앙를 따라 모든 건물 측면으로 창들이 일정하게 위치하여 있고 전체적으로 표면 거칠기는 비슷하다. 도로의 중앙은 차량이 다니는 도로이며, 양옆은 폭이 좁은 보행자 도로로서 건물 양측면에 간판이 배열되어 있어 건물 면의 반사와 간판 등에 의해 발생되는 전파의 산란효과도 존재할 것으로 추정된다. 이 도로의 폭은 약 11m 정도이고 도로변의 건물들은 거의 일정하게 배열되어 있다.

도로변을 따라 86m까지 골목이 존재하지 않으며 송신 안테나의 높이에 비해 건물이 더 높게 위치하고 있으므로 수신신호에 대한 건물지붕 위로의 회절파의 영향은 비교적 작을 것으로 예상할 수 있다. 본 실험은 도심상가 지역의 소규모 십자도로 상에서 송신 안테나로부터 86m인 지점을 기준으로 하여 LOS 및 N-LOS 전파환경으로 구분하여 직접파와 반사파 그리고 회절 반사파에 대한 영향을 분석하기 위해 전파측정을 행하였다. 여기서 측정거리는 매 30λ의 4.5m 거리에 대하여 30-50 개의 전력지연 프로파일을 수집하여 평균하므로써 각각의 측정위치에서 채널 매개변수를 비교 분석하게 된다.

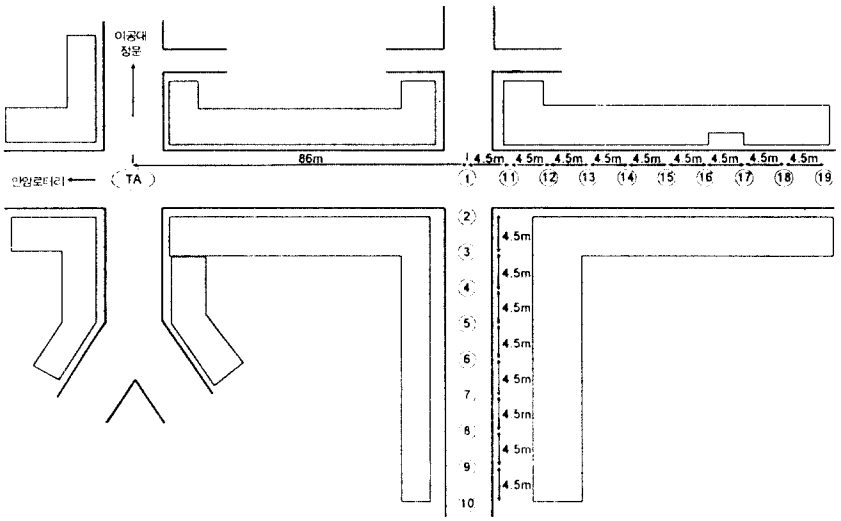


그림 2. 무선채널 측정장소의 지적도
Fig. 2 Map of Wireless Channel Measurements Sites

3.2 채널 특성의 측정 및 분석

3.2.1 LOS 및 N-LOS의 전파 특성

LOS와 N-LOS 전파환경에서의 수신신호 전파특성에 따른 채널 매개변수의 영향을 분석하기 위해 LOS와 N-LOS 로 구별 가능한 지역을 택하여 거리의 증가에 따라 전파측정을 행하였다. 송신 안테나는 상가지역의 소규모 십자도로 중앙에 지면방향으로 10도의 기울기를 가지고 8m의 높이에 위치하고 있으며, 86 m지점을 기준으로 하여 LOS와 N-LOS로 구별 가능한 위치를 선택하였다. 이때 그림 2의 지점 ①을 기준으로 하여 직선로와 골목길에 대하여 매 30λ(=4.5 m) 간격으로 각 지점에서 전력지연 프로파일을 수집하였다. 그림 2의 지점 ①에서 측정된 평균 전력지연 프로파일을 그림 3에 보이고 있다.

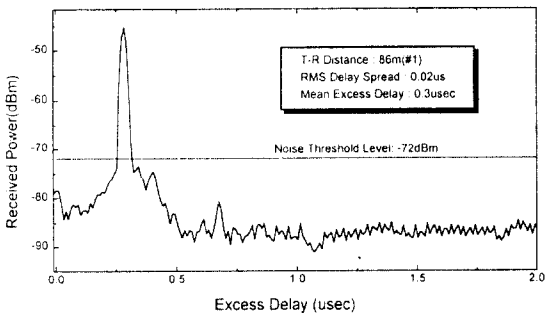
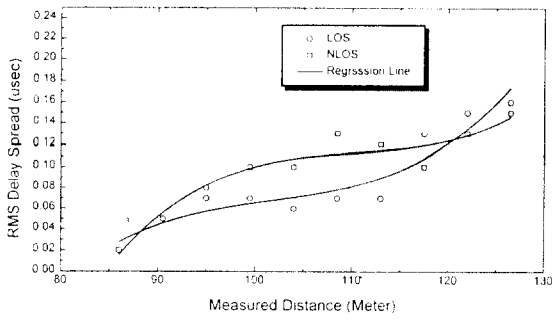


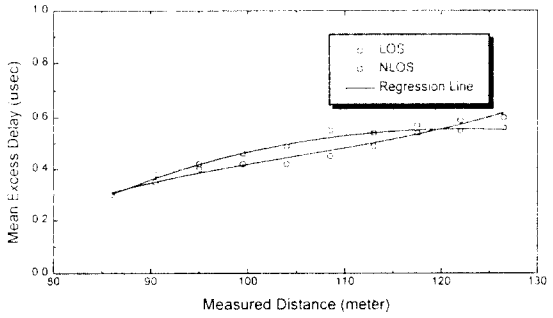
그림 3. ①번 지점에서 측정된 평균 전력지연 프로파일
Fig. 3 Average Power Delay Profile Measured at Site ①

이 평균 전력지연 프로파일로부터 처음 도착한 파의 도착시간은 0.283 μsec로써 약 85m의 거리에 해당하며, 이는 실측치의 오차와 시스템 자체의 미세한 오차를 감안한다면 제작된 시스템의 거리 해상정확도가 매우 양호함을 알 수 있다. 이때 측정된 RMS 지연확산과 평균 과도지연은 각각 0.02 μsec와 0.30 μsec로 계산되었다. 그림 4는 직선로의 LOS와 골목길의 N-LOS 전파 환경하에서 각 지점의 평균 전력지연 프로파일로부터 측정된 거리의 증가에 따른 분석결과의 RMS 지연확산 값을 보이고 있다. 또한 그림 5는 각각의 측정 위치에서 전파거리에 따른 평균 전력지연 프로파일의 최대 수신피크 전력을 나타내고 있다.

송신기로부터 90.5m 거리의 지점 ②와 ⑪은 각각 LOS와 N-LOS 지역으로 분리되는 분기점으로서 N-LOS로 분리되는 ②번 지점의 경우 도로 중앙에서 건물 쪽으로 4.5m 떨어진 골목 입구에서 측정된 결과이다. 실질적으로 이 지점은 LOS와 N-LOS의 전파의 지연특성상 구별이 없는 지점으로서 RMS 지연확산 값이 각각 0.05 μsec로 측정되었다. 그러나 LOS에서의 직접파와 반사파의 영향으로 지점 ⑪의 최대 수신전



(a)



(b)

그림 4. 전파거리에 따른 LOS와 N-LOS에서의 RMS 지연확산 및 평균과도지연 측정결과
(a) RMS 지연확산, (b) 평균과도지연

Fig. 4 Measured RMS Delay Spread and Mean Excess Delay at LOS and N-LOS with Respect to Propagation Distance
(a) RMS Delay Spread, (b) Mean Excess Delay

력이 N-LOS의 지점 ②에 비하여 약 3dB 큰 −54dBm이 측정되었으며, 평균과도지연은 지점 ⑪에서 지점 ②보다 0.03 μsse 작은 0.35 μsec가 측정되었다. 분기점으로부터 멀어질수록 N-LOS의 RMS 지연확산과 평균과도지연은 점점 크게 증가하여, LOS의 지점 ⑫에서 RMS 지연확산은 0.07 μsc로 측정된 데 비하여 같은 거리의 N-LOS의 지점 ③에서 0.08 μsec로 측정되었으며 평균과도지연은 큰 차이가 없는 것으로 관측되었다. 이 지점부터 N-LOS 영역은 반사파와 회절반사파에 의해 전파 수신 전력지연 프로파일에 직접적인 영향을 미치게 되므로 RMS 지연확산과 평균과도지연이 점차 증가되는 결과를 가져온 것으로 추정할 수 있다.

그림 4에서 보는 바와 같이 115 m까지의 측정거리에 대하여 RMS 지연확산은 LOS인 경우 0.02 μseq부터 0.07 μsec 사이에서, N-LOS인 경우 0.05 μsec에서 0.13 μsec까지 변화하게 된다. 그러나 LOS의 지점 16은 송신안테나로부터 117.5 m 떨어진 지점으로 RMS 지연확산이 0.13 μsec 이상으로 급속히 증가하였으며 그 이후의 지점에서 더욱 증가하여 LOS지역에서의 거리에 따른 RMS 지연확산과 평균과도지연의 증가특성을 벗어나 오히려 N-LOS지역에서의 지연분산과 지연크기가 커지는 반전현상을 관찰할 수 있었다. 16번 지점 이후에는 20m의 거리에 걸쳐 3층 높이의 건물의 주거지역이 포함되어 있었고 큰 나무와 같은 산란자와 독특한 상업용 구조물이 집중적으로 산재하여 채널특성에 직접적인 영향을 미친 것으로 추정된다. 이러한 관측사실로부터 마이크로셀내의 특이한 주변환경의 변화는 전파 펄스전송의 지연확산특성에 큰 변화를 유발한다고 생각된다.

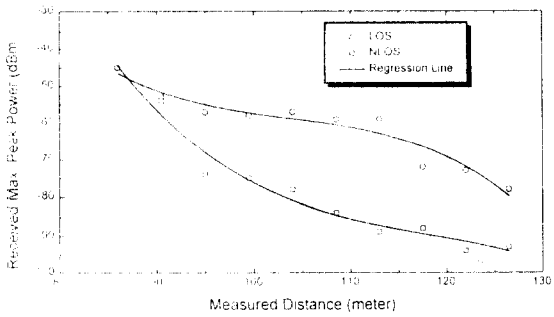


그림 5. LOS와 N-LOS에서 거리에 대한 최대파크 수신전력 변화

Fig. 5 Received Maximum Received Peak Power Variation with Respect to Distance at LOS and N-LOS

수신 최대전력은 그림 5에서 보는바와 같이 LOS지역과 N-LOS지역으로 확연히 구별되는 지점 ⑫에서 지점 ③에서 보다 약 16 dB정도 더 큰 전파전력이 수신됨을 알 수 있다. 지점 ③ 이후의 지점에서는 N-LOS 전파환경을 갖는 음영지역(shadowing region)으로서 반사파와 회절파만이 수신되므로 수신전력은 급격한 감소를 겪게된다. 또한 직접파가 전혀 미치지 못하는 지점 ③에서는 지점 ①보다 평균 전력지연 프로파일

의 수신 최대전력이 29 dB 감소되어 수신되었으며, 이것은 단일 회절 모서리 손실로써 묘사되어질 수 있는데 회절 손실은 약 30 dB 내외로 추정될 수 있음을 의미한다. 일단 회절손실이 발생한 이후의 지점, 즉 보다 진입된 음영지역에서는 급격한 감쇠요인은 없고 다만 N-LOS지역으로 진입된 반사파와 회절 반사파의 반사손실 및 전파손실 만을 갖는 것으로 추정할 수 있다.

3.2.2 안테나 기울기에 의한 전파특성

안테나 지향성 패턴에 따른 무선채널의 전파특성 매개변수의 결과를 비교하기 위하여 송신안테나를 지면을 향해 기울인(10도) 경우와 바로 세운(0도) 경우에 대해 LOS와 N-LOS 전파환경에 대하여 동일한 채널측정 시스템 조건하에서 수행되었다. 송신안테나를 지면을 향하여 10도 기울인 경우 평균전력지연 프로파일에 영향을 미치는 수신파는 직접파, 반사파 그리고 지면 반사파가 지배적이다. 그러나 송신안테나를 바로 세운 경우 평균전력 지연프로파일에 지면 반사파로 의한 영향은 감소될 것으로 예상된다. 8m의 송신안테나를 지면을 향해 10도 기울인 경우 단순지면 반사구조 가능시 주빔(main lobe)의 지면 반사거리는 약 46 m이며, 또한 수직(vertical)의 3dB 빔폭(beam bandwidth)은 13도이므로 송신 안테나로부터 약 28m부터 131m까지의 지면을 반사하는 것으로 예측된다. 그러나 송신안테나를 바로 세운 경우 주빔은 자유공간을 전파하게 되고, 수신기에 도착하는 지면 반사파의 영향은 수직의 3dB 빔폭에 의해 131m 이후에나 발생하게 된다. 이때 안테나 틸팅시의 RMS 지연확산은 0.02 μsec 증가된 결과를 가져오는 것으로 측정되었다. 그림 6은 지면반사파가 채널 매개변수에 미치는 영향을 고려하기 위해 송신안테나를 10도 기울였을 때와 바로 세웠을 때 거리의 증가에 따라 측정된 RMS 지연확산을 직접경로의 LOS 환경하에서 측정한 것이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 송신안테나를 기울임에 따라 RMS 지연확산은 지점 19에서 최대 0.03 μsec 증가되는 결과를 보였다. 이것은 지면반사에 의해 전파가 더 시간 지연되어 수신기에 도달하게 되는 경우와 지면 반사파가 전파환경을 이루고 있는 건물에 재반사하여 수신기에 도착하게 되어 RMS 지연확산의 증가를 가져오는 것으로 추측할 수 있다.

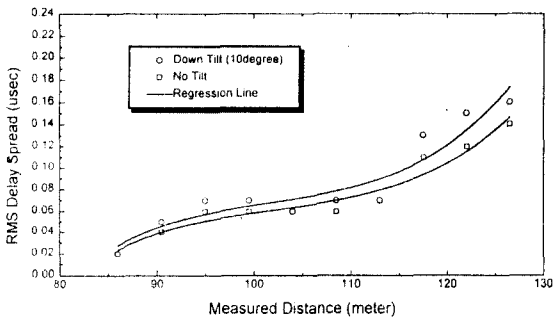


그림 6. LOS 환경에서 안테나 기울기에 따른 RMS 지연확산 변화

Fig. 6 RMS Spread Variation with Respect to Antenna Tilt at LOS

이때 LOS 환경하에서 측정된 RMS 지연확산은 안테나를 지면쪽으로 10도 기울였을 때 최대 0.16 μsec 이며 안테나를 기울이지 않았을 때 0.14 μsec로 안테나 틸팅에 의한 다중경로 지연파의 수신전력 감소로 인한 지면반사파의 영향은 RMS 지연확산을 0.02 μsec 증가시키는 결과를 초래하였다. 또한 각각의 실험환경에 대하여 측정된 평균과도지연은 지점 ⑭와 16에서 각각 0.42와 0.45 μsec의 동일한 지연확산값이 관측됐으나 측정 거리를 증가시킴에 따라 RMS 지연확산 차이는 더욱 증가하였다. 이것은 거리가 증가함에 따라 지면반사파 및 지면반사파의 재반사가 수신 프로파일에 더욱 시간 분산적인 영향을 미치게 되어 나타나는 전파현상으로 추정된다. 그러나 그림 6의 RMS 지연확산 측정결과가 보여주는 바와 같이 RMS 지연확산 측정치에 대한 전체적인 경향은 매우 유사하다. 그림 7은 N-LOS 전파환경하에서 전술한 두가지의 송신안테나 변이에 대한 RMS 지연확산의 측정결과를 보여주고 있다.

송신안테나를 지면으로 기울였을 때 LOS 환경에서와 마찬가지로 모든 측정 위치에서 RMS 지연확산이 다소 증가하였으며 최대 0.02 μsec의 차이를 보였다. N-LOS의 경우 송신 안테나로부터 방사된 전력은 직접파가 존재하지 않으며 반사파와 회절 반사파의 재반사에 의해 수신된다. 송신안테나를 기울임으로써 반사파, 회절 반사파, 그리고 지면 반사에 의해 음영지역으로 침투하는 지면반사파가 수신기에 도착하

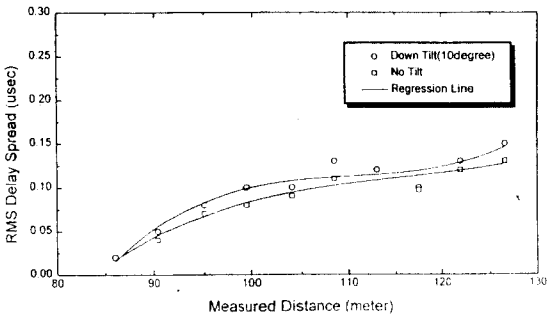


그림 7. N-LOS 환경에서 안테나 기울기에 따른 RMS 지연 확산 변화

Fig. 7 RMS Spread Variation with Respect to Antenna Tilt at N-LOS

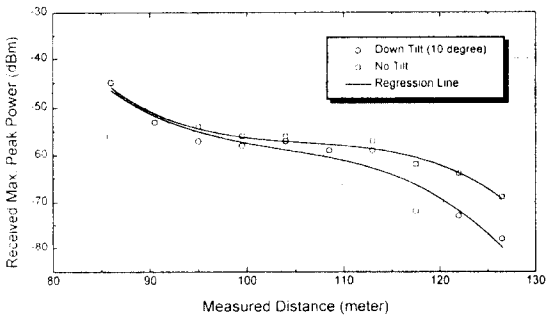


그림 8. LOS 환경에서 안테나 기울기에 따른 최대피크 수신전력 변화

Fig. 8 Received Maximum Peak Power Variation in LOS by Antenna Tilt

므로 송신안테나를 기울이지 않았을 때에 비해 수신 신호가 더욱 시간 분산적인 결과를 가져오는 것으로 추정할 수 있다. 결국 송신안테나를 지면으로 기울임으로써 지면 반사파의 영향에 기인하여 RMS 지연확산은 다소 증가하는 것으로 추정된다. 또한 그림 8에서 보는 바와 같이 안테나를 기울이지 않음에 따라 LOS 환경 하에서 평균전력지연 프로파일의 수신 최대피크 전력은 최대 10 dB 이득을 갖게된다.

이것은 주빔이 직접 경로를 따라 자유공간을 전파하는 LOS와 달리 주빔이 지면반사를 하게됨으로써 지면 반사손실에 의한 결과로 추측할 수 있다. 그때 지점 16의 113 m까지 측정된 수신 최대피크 전력은

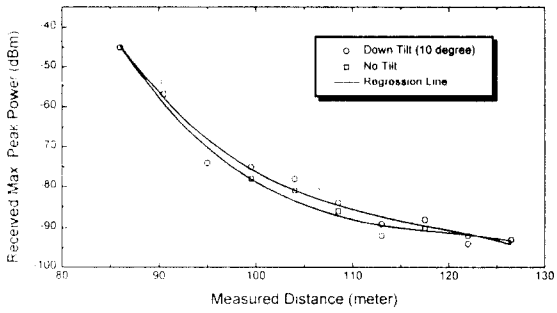


그림 9. N-LOS 환경에서 안테나 기울기에 따른 최대피크 수신전력 변화

Fig. 9 Received Maximum Peak Power Variation in N-LOS by Antenna Tilt

최대 4dB까지의 수신이득을 갖게된다. 그러나 송신 안테나를 기울인 경우 거리를 증가시킴에 따라 수신 최대피크의 전력은 급격히 감소함을 볼 수 있다. 그 이유는 전술한 바와 같이 반사파의 기하광학적 지면 반사 거리는 28 m부터 131 m까지 이나 주빔이 수신기에 직접적인 영향을 미치게 되는 거리는 113 m까지라고 추측할 수 있다. LOS 전파환경하에서 송신 안테나를 지면쪽으로 기울임으로써 RMS 지연확산의 증가와 수신 최대피크 전력 이득의 감소의 결과를 가져오게 된다. 그러나 그림 9에서 보는 바와 같이 N-LOS에서는 송신 안테나를 지면으로 기울임에 따라 수신 최대피크 전력은 모든 측정 지점에서 다소 크게 측정되었고 3 dB 정도의 수신 이득을 갖는 것으로 관찰되었다.

이것은 반사파와 회절 반사파의 성분 외에 지면 반사파가 효과적으로 N-LOS 영역에 침투된 결과로 예측된다. 그러나 거리의 증가와 함께 지면 반사파는 다중 반사손실에 의해 서서히 감소하게 되어 ⑩번 지점에서 송신 안테나를 기울이지 않았을 때의 수신 최대 피크전력은 −92 dBm으로 동일하게 관측되었다. 따라서 ⑩번 지점부터 지면 반사파는 수신 신호의 전력 프로파일에 영향을 미치지 않는 것으로 추정된다. 안테나를 기울이지 않은 경우의 LOS시 최대 10 dB 정도의 수신이득을 갖는 반면에 N-LOS시 3 dB 정도의 수신이득 감소를 초래하게 된다.

그림 10은 본 연구에서 측정한 도심 상가지역의 안테나 기울기에 따른 측정된 RMS 지연확산의 누적확

률 분포를 보이고 있다. 측정된 최대 RMS 지연확산은 각각에 대하여 0.16 μsec와 0.15 μsec로 측정되었으며, 또한 그림에서 보는 바와 같이 0.1 μsec 이상의 RMS 지연확산 값은 각각의 상황에 대해 58%와 35%로 계산되었다.

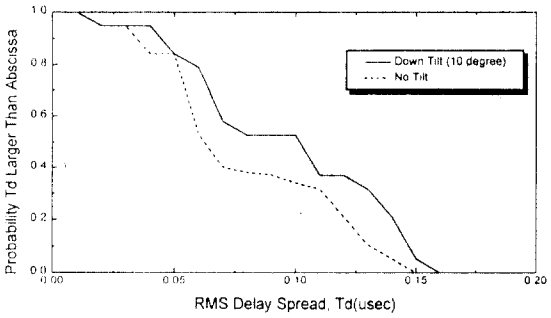


그림 10. 안테나 기울기에 따른 RMS 지연확산의 누적확률 분포

Fig. 10 CDF of RMS Delay Spread by Antenna Tilt

Ⅳ. 결 론

본 연구는 1994년과 1995년 여름과 가을에 걸쳐 서울의 특정지역을 대상으로 실시한 전파실험 결과를 기술하였으며, 전파환경을 LOS지역과 N-LOS지역으로 분류하여 각각의 전파환경하에서 수집된 약 1,500여개의 수신 전력지연 프로파일로부터 통계적으로 평균한 결과로 나타내었다.

본 연구의 실험에서 관측된 결과들을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 안테나를 10도 기울인 경우 측정대상의 반경 130m의 도심지역에서 RMS 지연확산은 최소 20 nsec에서 최대 160 nsec, 평균 RMS 지연확산은 95.3 nsec이고 표준편차는 38.6 nsec로 측정되었다. 둘째, 안테나를 바로 세운 경우에 측정된 상가지역의 평균 RMS 지연확산은 95.6 nsec이고 표준편차는 27 nsec로 측정되었으며, 따라서 본 실험대상지역에서 이론적으로 등화기를 사용하지 않고 전송할 수 있는 코히어런스 대역폭은 약 1.67MHz로 계산되었다. 셋째, 안테나를 기울이는 경우에 지면반사된 전자파의 영향으로 3 dB 정도의 수신전력의 이득을 갖게 된다. 따라서 마이크로셀과 같은 환경에서 송신 안테나를 기울이는 경우에 RMS 지연확산은 다소 증가하게 되지만 음영지역에서 수신전력이 증가된다.

본 연구에서 전파실험장소로 택한 지역은 하나의 특정지역이기 때문에 우리 나라의 도심지역을 포괄적으로 대표할 수는 없을 것이나, 본 연구의 결과는 국내의 도심 마이크로셀의 일반적인 전파특성을 관측하고 분석한 결과를 기술하였다. 차후의 연구로서 PCS 서비스의 또 다른 주요관심 지역인 고층건물 밀집지역이나 언덕, 산악, 또는 해변이나 대규모 하천 및 강변 지역에서의 측정이 본 연구의 확장연구로서 추진되고 있다.

참 고 문 헌

1. T.S. Rappaport, "Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Buildings," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.37, no.8, August 1989, pp. 1058-1069.
2. L.W. Couch II, *Digital and Analog Communication Systems*, Macmillan, New York, 1990.
3. D.M.J. Devasirvatham, "Time Delay Spread and Signal Level Measurements of 850 MHz Radio Waves in Building Environments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.AP-34, no. 11, Nov. 1986, pp. 1300-1305.
4. R.J.C. Bultitude, S.A. Mahmoud, and W.A. Sullivan, "A Comparison of Indoor Radio Propagation Characteristics at 910 MHz and 1.75 GHz," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.7, no.1, January 1989.
5. K. Pahlavan, R. Ganesh, and T. Hotaling, "Multipath Propagation Measurements on Manufacturing Floors at 910 MHz," *Electronics Letters*, 2nd Feb., 1989, vol.25, no.3, pp. 225-227.
6. T.S. Rappaport, S.Y. Seidel, and R. Singh, "900 MHz Multipath Propagation Measurements for U. S. Digital Cellular Radiotelephone," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.39, no.2, May 1990, pp. 132-139.
7. D.M.J. Devasirvatham, "Multipath Time Delay Jitter Measured at 850 MHz in the Portable Radio Environment," *IEEE Journal on Selected Areas in*

Communications, vol. SAC-5, no.5, Jun. 1987, pp. 855-861.

8. J.C.I. Chuang, "The Effects of Multipath Delay Spread on Timing Recovery," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-35, no.3, Aug. 1987, pp. 135-140.
9. D.C. Cox, "910 MHz Urban Mobile Radio Propagation: Multipath Characteristics in New York City," *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-21, no.11, Nov. 1973, pp. 1188-1194.
10. 박시우, 서정현, 김영식, 박진우, "PCS 무선채널 특성측정을 위한 시스템 개발 및 실험," *한국통신학회 하계학술발표회 논문집*, pp. 602-605, 1995.
11. 박시우, 서정현 김영식, 박진우, "2 GHz 대역에서 상가지역의 RMS 지연확산 및 신호레벨 측정," *한국통신학회 추계학술발표회 논문집*, pp. 875-879, 1995.
12. 박시우, 곽우영, 박진우, "도심 마이크로셀에서의 안테나 기울기에 따른 무선 다중경로 전파특성의 실험적 분석," *한국통신학회 하계학술발표회 논문집*, pp. 186-191 , 1996.

박 시 우(Si Woo Park) 정회원

1961년 10월 1일생

1989년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)

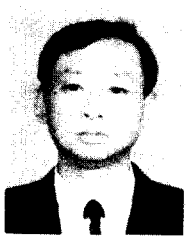
1991년 8월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 석사졸업(공학석사)

1994년 3월~1995년 12월 : 경희대학교 전파공학과 강사

1995년 1월~1996년 3월 : 부혜정보통신 책임연구원

1996년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박사졸업(공학박사)

1996년 4월~현재 : 한솔 PCS 주식회사 엔지니어링본부 RF그룹(선임연구원)



곽 우 영(Woo Young Kwak) 정회원

1956년 9월 3일생

1978년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)

1992년 8월 : 고려대학교 산업대학원 전자통신공학과(공학석사)

1993년 8월~현재 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1981년 1월~1991년 12월 : 금성전기 기술연구소 선임연구원

1992년 1월~1993년 12월 : 금성통신 연구소 책임연구원

1994년 1월~현재 : LG 전자통신연구소 책임연구원

※주관심분야 : 무선통신 System, 무선채널 특성분석