

## 1.9 GHz 대역에서의 LOS 전파측정과 전파특성에 관한 연구

정희원 김 준 철\*, 황 원 택\*, 정 현 민\*, 김 상 명\*

### LOS Measurements and Propagation Analysis at 1.9GHz band

Jun Chul Kim\*, Won Taik Hwang\*, Hyun Meen Jung\*, Sang Myung Kim\* *Regular Members*

#### 요 약

본 논문에서는 마이크로셀 가시선(Line of Sight ; LOS) 전파특성 예측을 위해 다양한 안테나 높이(4m, 8m, 15m)에 대해 전파측정을 시행하고 얻어진 측정 데이터를 분석하였다. 측정에 사용된 주파수는 1.9GHz 대역이며 주변에 건물이나 장애물이 없는 도로상에서 LOS경로를 따라 측정데이터를 취득하였다.

마이크로셀 LOS경로는 주파수 및 안테나 높이로 정의되는 브레이크 포인트(break point)를 전후로 다른 감쇄 기울기를 가지게 된다. 본 논문에서는 브레이크포인트 이전의 경로는 자유공간 모델을 적용하고 이후의 경로는 해당데이터의 회귀분석 결과를 적용하여 실용적 전파모델을 구성하였다. 예측치와 측정데이터의 비교 결과는 높은 정확도(5dB 이내의 표준편차)로 근사하므로 고속도로와 같은 개방지역에서 LOS 경로손실 예측에 활용될 수 있다.

#### ABSTRACT

In this paper, RF propagation measurement and regression analysis are performed to represent a line of sight characteristics of 1.9GHz band. Radio data collection is accomplished in the environment of rural highway which has no building or obstacle along the road side and antenna of 4m, 8m and 15m are used to analyze the effect of antenna height.

In microcellular LOS environment, breakpoint is known to divide overall path into two sub-path with a different power law exponent. In this paper, free space model and regression result of measured data are used on either side of breakpoint. With regression analysis, effect of antenna height was also derived. The prediction and measured data show good agreement with standard deviation error of below 5dB. The results of this study is expected to be applied to a pathloss prediction in LOS roads like highway.

#### I. 서 론

PCS나 셀룰라등 이동통신 시스템에서 가입자 용량 확대와 양호한 통화품질 확보를 위하여 마이크로셀 구성이 필수적이다. 마이크로셀은 저출력과 낮은 안테나 높이가 특징이며 정확한 서비스 반경 예측을 위해서는 기지국 주변의 장애물

등 전파환경에 따른 해당 주파수 전파특성에 관한 연구가 선행되어야 한다.

기존의 셀룰라 및 PCS 무선망 설계를 위해서는 COST231-Hata모델[3]등 매크로셀 전파환경에서 개발된 모델을 주파수 및 환경변수(morphology)를 보정하여 적용하였다. 이러한 방법은 대도시 셀설계(cell planning)에서와 같이 평균적인 기지국 커버리지를 결정하는 방법으로는 적합하지만 빌딩이나 전

\*한국통신 연구개발본부 무선통신연구소(jckim@rcunix.kotel.co.kr) 정희원  
논문번호:97369-1014, 접수일자:1997년 1월 14일

파경로상의 장애물을 고려하지 않으므로 마이크로셀 모델은 아니다.

결과적으로 기존의 매크로셀 모델을 거리가 가까운 마이크로셀 환경에서 취득된 데이터와 비교하면 정확도가 낮아져 실제 적용에 많은 어려움이 있다[6].

최근에 LOS경로나 건물등 개별 구조물이 전파특성에 주로 작용하는 마이크로셀 환경의 측정 데이터를 통해 이론적/경험적 모델을 연구하는 연구가 활발히 진행되고 있다[4, 5, 12]. Two Line 모델[5, 7]은 LOS 경로 어느 특정지점 이후에 급격한 신호감쇄 현상을 일차 프레넬존(Fresnel zone)과 브레이크 포인트(Break Point) 개념을 통해 전파모델로 구성한 것이다. Two Line 모델은 전파경로상의 여러 구간에 따라 다르게 나타나는 전파특성을 각각 다른 감쇄정수를 도입함으로써 전체 구간에서의 손실 예측에 정확성을 기할 수 있으나 안테나 높이에 따라 전체 파라미터값이 모두 재설정되어야 하므로 공식이 매우 복잡하게 된다.

본 논문에서는 마이크로셀 LOS 환경에서 발견되는 이러한 브레이크 포인트 특성을 모델링하여 LOS 경로의 전파손실 예측모델을 제안하였다. 제안된 모델에서는 브레이크포인트 전후에 다른 기술품을 각각 적용하여 전체 구간에서 높은 정확도를 기할 수 있다. 또한 다양한 안테나 높이에 대한 실측 데이터로부터 안테나 높이에 의한 기술품등 보정항을 구하여 간략한 식으로 제공하였다.

다음II장에서는 측정데이터 취득을 위한 전파측정 장비와 환경에 대해 기술한다. III장에서는 Two Line 모델을 통해 마이크로셀 LOS경로의 전파특성인 브레이크 포인트에 대해 설명한다. IV장에서는 제안된 모델에 대해 설명하고 실측 데이터와의 비교결과를 고찰하였다.

## II. 전파측정 시스템 및 측정 환경

측정에 사용된 전파측정 시스템은 단일 주파수 CW(Continuous Wave) 신호를 발사하는 이동용 실험 기지국과 수신 안테나를 통해 수신전력을 취득할 수 있는 이동국(차량)으로 구성된다. 수신기를 통해 측

정된 신호전력은 차량에 장착된GPS/DR(Global Positioning System/Dead Reckoning)에서 제공되는 위치 정보와 함께 저장되어 후처리(post-processing)에 사용된다.[8,9].

방향센서와 속도계를 이용하는 DR 장비의 사용으로 GPS 위성신호를 받을 수 없는 곳에서도 중단없이 위치좌표를 취득할 수 있다. 다음 그림1은 실험에 사용된 전파측정 장비의 구성을 간략히 나타낸다.

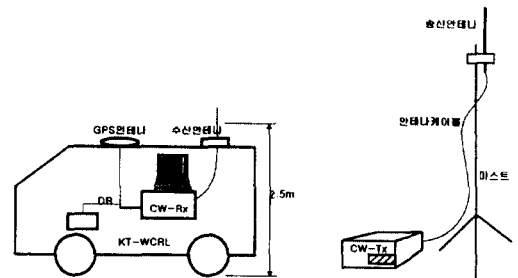


그림 1. 전파수신차량(이동국)과 기지국

송신기의 동작주파수 범위는 1840-2000MHz 이며 출력범위는 4dBm에서 43dBm(20Watt)까지 조정이 가능하다[8]. 기지국안테나는 최대 8m 까지 높이 조절되는 이동용 안테나 마스트에 전방향(omni-directional) 안테나(5dBi)를 사용하였다.

수신기는 측정차량(개조된 밴)의 지붕에 송신안테나와 같은 5dBi의 이득을 가지는 전방향 안테나를 사용하였다. 수신안테나는 차량내부에 설치된 수신기에 케이블로 연결되어 있고 위치정보 취득을 위해 GPS수신기와 DR장비가 장착되어 있다. 전파 수신 안테나와 GPS안테나를 통해 수신된 전파전력(dBm)과 위치좌표(위경도)는 수신기에서 결합되어 수신기 제어 노트북 컴퓨터로 전달된다. 수신 안테나의 높이는 지면으로부터 약 2.5m 에 설치되어 있다.

측정 데이터 자기상관특성으로부터 연속 샘플링 데이터간 상관계수가 0.2 이하가 되기 위해서는 0.8s 간격으로 데이터가 취득되어야 한다[13]. 이러한 조건에 따르면 매 40s 간격으로 수신전력값을 결정하기 위해서는 50개의 순시데이터가 필요하다. 실험에 사용된 측정시스템은 차량속도에 따라 자동으로 샘플

플링 간격을 조정하여 이러한 가정을 만족시킨다. 여러 순시값들을 평균함으로써 단기 페이딩(short term fading)의 효과를 상쇄시키고 거리에 따른 장기 페이딩(long term fading) 특성을 나타내는 데이터를 취득하게 된다.

본 연구에서는 가급적 지면에 의한 반사파와 직진파의 성분을 통해 브레이크 포인트 특성을 파악하기 위해 주변건물이 없고 차량운행이 적은 지방도로 상에서 측정하였다. 2.5 km까지 가시선이 확보되고 또한 해안도로이므로 건물주변에는 약간의 가로수를 제외하고는 건물의 분포 또한 거의 없어 주변 건물에 의한 반사 및 회절성분을 무시할 수 있다고 가정한다.

표 1. LOS 전파측정을 위한 제원

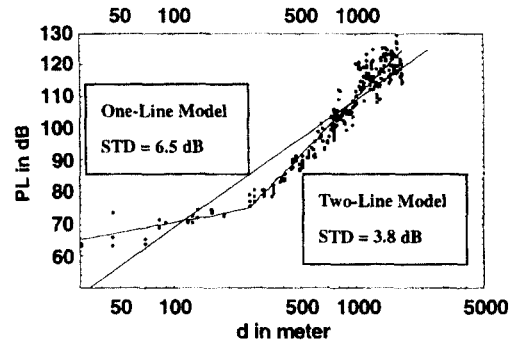
중심주파수	1920.1 MHz
기지국 안테나 높이	4m, 8m, 15m
송신전력	8dBm
안테나케이블 손실/길이	3dB/10m
기지국안테나 이득	5dBi
실효방사전력	10dBm(10mW)
이동국 안테나 높이	2.5m
수신 안테나 이득	5dBi
측정지역(개방지역)	주변에 건물이 없는 약 2.5km 의 8 차선 직선도로

### III. Two Line 모델

RF 전파모델연구에서 측정데이터 분석을 위한 방법으로는 회귀분석(Regression Analysis)이 이용된다. 회귀분석을 통해 신호전력(dBm)이나 전송손실(dB)을 로그 스케일의 기지국-이동국간 거리 위에 도시하고 거리와 신호세기와의 관계를 연구한다. 기존의 모델은 전체 측정범위에 대한 데이터를 한 개의 직선으로 표시하고 각 환경변수를 보정식의 형태로 제공하는 방법들이 제안되고 실제 무선망설계 및 전파연구에 많이 사용되었다[1, 2, 3]. 이러 모델들은 구성이 간단하고 직관적이기에 무선망 구성에서 초기설계단계(Nominal Cell Planning)에서 많이 사용되고 있다[10].

그림 2는 LOS 전파경로를 따라 측정된 데이터로

거리에 대한 전송손실을 나타낸다. 전송손실은 실효방사전력과 수신신호 전력의 차로 단위는 dB다. 그림에 나타난 두개의 직선은 측정데이터를 두 가지 기본모델의 형식으로 나타낸 것으로 LOS 전파전파 특징을 나타내고 있다. 기존의 Hata모델등과 같이 전구간을 한 개의 대표적인 기울기로 근사한 모델과 경로상의 어느 한 점(브레이크 포인트)을 기준으로 각각을 다른 기울기를 근사하는 모델을 비교한다.



Freq. = 1920.1 MHz,  $h_b = 4m$ ,  $h_m = 2.5m$

그림 2. One-line모델 Two-line 모델 비교

측정데이터의 선형 회귀분석을 통해 One-Line 모델 기울기가 약 40dB/dec이며 표준편차 (Standard deviation;STD)는 6.5dB에 이르렀다. 전체 데이터는 등간격으로 취득되었지만 로그스케일로 나타내면 먼 영역에서 데이터가 집중되어 회귀 분석결과(로그 모델)도 먼 영역의 데이터에 더 의존하게 된다. Two-Line 모델(식 (3))로 측정데이터를 근사한 경우는 약 250m 정도(브레이크 포인트)를 전후로 각각 기울기가 각각 10.2dB/dec 와 59.1dB/dec 이며 One-Line모델보다 STD가 작음을 알수 있다(STD=3.8 dB).

브레이크 포인트는 일차 프레넬 존 타원(First Fresnel Zone Ellipsoid)과 이론적 연관성을 가진다[7]. 브레이크 포인트 이전에서는 전파경로가 프레넬 존 크리어런스(Fresnel Zone Clearance)를 확보하여 전파손실은 자유공간에서와 같이 확산 손실만이 존재하게 된다. 그러나 이동국이 기지국으로부터 멀어짐에 따라 기지국, 이동국 안테나를 초점으로 하는 프레넬 존 크리어런스가 지면에 의해 가려지게 되어 수신전

력이 급격히 감소한다.

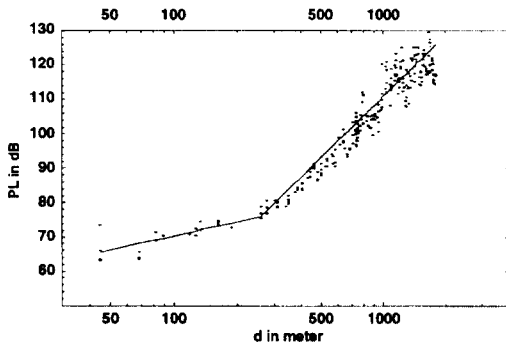
LOS 전파전파 특성에서 나타나는 브레이크 포인트를 이전과 이후에서 다르게 관찰되는 전파 특성(기울기)을 각각 다른 기울기로 나타내는 것이 Two Line 모델이다[7]. 다음 식은 기지국 안테나와 이동국 안테나 높이가 각각  $h_b, h_m$  이고 전자파 파장이  $\lambda$ 인 일차 프레넬 존이 지면에 닿는 지점으로 브레이크 포인트를 정의한다.

$$d_{break} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{(\Sigma^2 - \Delta^2)^2 - 2(\Sigma^2 + \Delta^2)\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^4} \quad (1)$$

위 식에서  $\Sigma = h_b + h_m, \Delta = h_b - h_m$  이다. 충분히 높은 주파수대역에는 위 식은 다음과 같이 근사될 수 있다[7].

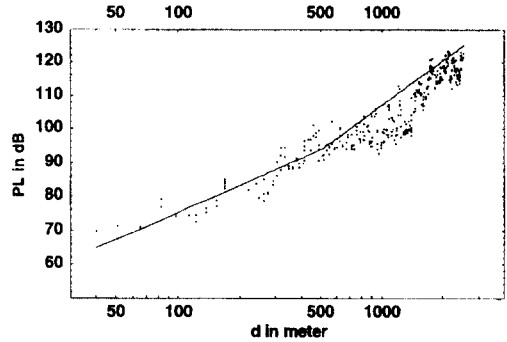
$$d_{break} \approx \frac{4h_b h_m}{\lambda} \quad (2)$$

다음의 그림 3, 4, 5와 표 2는 앞서 언급한 전파측정 환경에서 세가지 안테나 높이(4m, 8m, 15m)로 측정된 데이터와 Two Line 모델로 회귀분석 결과를 도시하였다. 그림에서 x축은 기지국과 이동국간 거리로 단위는 meter 이고 y축은 실효방사전력에서 수신신호를 감한 경로손실(path loss) 값을 dB로 나타낸다.



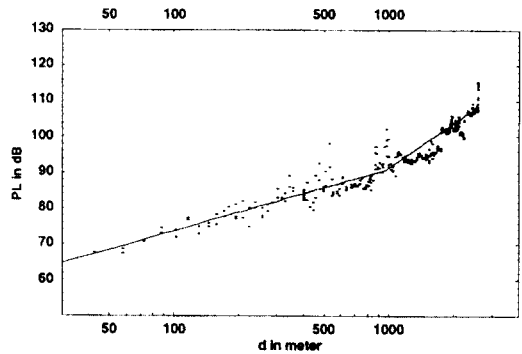
Freq.=1920.1MHz,  $d_{break} = 257m$

그림 3. Two Line 모델,  $h_b = 4m$



Freq.=1920.1MHz,  $d_{break} = 513m$

그림 4. Two Line 모델,  $h_b = 8m$



Freq.=1920.1 MHz,  $d_{break} = 961m$

그림 5. Two Line 모델,  $h_b = 15m$

위 그림들로부터 Two Line 모델의 전파경로 손실(Propagation Pathloss)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$PL_{LOS} = \begin{cases} L_b + n_1 \log_{10} d, & d < d_{break} \\ L_b + n_1 \log_{10} d + n_2 \log_{10} (d/d_{break}), & d \geq d_{break} \end{cases} \quad (3)$$

위 식의  $L_b, n_1, n_2$  등의 값들은 측정데이터의 회귀분석을 통해 다음의 표2에 정리하였다.

표2 . Two Line 모델 회귀분석 결과

$h_b(m)$	4	8	15
$L_b(dB)$	42.7	22.0	39.1
$n_1(dB/dec)$	13.8	26.6	17.3
$n_2(dB/dec)$	59.1	44.6	41.1
$STD(dB)$	3.88	4.81	3.13
$d_{break}(m)$	257	513	961

\*STD : Standard Deviation(표준편차) , ME : Mean Error(오차평균)

표2에 나타난 결과에서 브레이크 포인트 이전의 기울기  $m$ 은 안테나 여러 안테나 높이에 대해 어떤 추세를 따르지 않음을 알 수 있다. 이러한 근거는 가까운 LOS 영역에서는 안테나 높이에 상관없이 프레넬 존이 충분히 확보되므로 지면 반사파의 영향이 크지 않은 자유공간 전파특성과 유사하게 된다[5]. 그러나 먼 영역 즉, 브레이크 포인트 이후 영역에서는 각 안테나 높이에 따라 40dB/dec에서 60dB/dec로 안테나 높이에 매우 민감하게 변함을 알 수 있다. 이는 언급한 바와 같이 전파경로의 프레넬 존이 이동국 안테나가 기지국으로부터 멀어짐에 따라 도로 지면에 접하게 되고 그로 인해 전력손실이 급증하기 때문이다.

Two Line모델은 한 사이트의 일회 측정에 의한 데이터에 대해서는 전파모델로서의 충분한 정확도(실측치와 예측치와의 표준편차가5dB이내)를 보이는 것은 사실이다. 그러나 식(3)과 같이 다른 안테나 높이에 따라 브레이크 포인트의 위치는 물론 기울기등 기타 상수항들 또한 변하게 되어 손실예측 공식 자체가 매우 복잡해질 수 있고 이러한 복잡성으로 인해 실용적인 전파모델이 가져야 하는 일반성을 잃게 된다.

#### IV. 제안된 LOS 전파모델 및 고찰

위에서 언급한 Two Line 모델에서는 고정된 기지국, 이동국 안테나에 대해 브레이크 포인트가 결정되고 그 양쪽의 데이터를 각각 회귀분석을 통해 기울기 등의 전파특성 파라미터를 추출하여 사용하게 된다. 실제 무선망 설계에서는 기지국의 위치에 따라 기지국 안테나 높이는 매우 가변적일 수 있다. 또한 고정된 안테나 높이에도 주변 건물의 분포나 구조 또한 차량 통행에 의해서도 브레이크 포인트는 이론적인 값과 다른 값을 가질 수 있는 상황을 고려한다면 다른 안테나 높이에 대해 매번 측정이 선행되어야 함을 의미한다. 이러한 상황을 위해 Two Line모델에 안테나 높이에 따른 기울기 변화와 브레이크 포인트의 변화를 동시에 고려한다면 매우 복잡한 식으로 표현되며 이러한 단점으로 Two Line모델이 연구용으로 많이 발표 되면서도 일반적인 모델로서의 적용에는 한계를 가지게 된다.

본 논문에서는 안테나 다양한 안테나 높이에 대한 실측데이터를 바탕으로 안테나 높이가 기울기와 상수항등에 미치는 영향을 분석하고 브레이크 포인트 이후의 전파예측에만 적용함으로써 간단한 모델을 구성하였다. 두개의 직선 즉 자유공간손실과 먼 영역(브레이크 포인트 이후, After Breakpoint)의 직선이 교차하는 점은 안테나 높이에 따라 달라지고 이는 전송 손실 값이 자유공간손실보다 커지는 지점으로 이론적으로 계산된 브레이크 포인트(식(2))와 일치하지 않을 수 있다.

본 연구에서 고려한 개방지역 LOS 전파모델 구성을 위한 기본 아이디어는 다음과 같다.

- (1) 기지국에 가까운 영역 : 자유공간 손실 모델을 따른다고 가정 ( $L_{Free}$ )
- (2) 기지국에서 먼 영역 : 각 기지국 안테나 높이에 의존하는 급격한 전파손실 특성을 이론적인 브레이크 포인트이후의 데이터 분석으로부터 모델링( $L_{AB-LOS}$ )
- (3) 안테나 높이에 대한 영향은 거리에 따른 기울기와 상수항에 영향을 미친다.
- (4) 브레이크 포인트는 실제 전파특성을 반영하는 자유공간 손실( $L_{Free}$ )과 먼 영역에서의 전파손실( $L_{AB-LOS}$ )이 만나는 점으로 정의된다.

위의 가정으로부터 LOS 전파손실 모델은 다음과 같은 형태로 생각 할 수 있다.

$$PL_{LOS} = \text{Max}[L_{Free}, L_{AB-LOS}] \tag{4}$$

$\text{Max}[a, b]$ 는  $a$ 와  $b$ 에서 큰 값을 선택하는 연산자이다.  $L_{Free}$ 는 자유공간손실 모델로 다음과 같다.

$$L_{Free} = -27.6 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d \tag{5}$$

위식에서  $f$ 는 주파수(MHz),  $d$ 는 기지국으로부터의 거리(m)이다. 자유공간손실 모델은 식(5)에서와 같이 안테나 높이에 무관하며 LOS 경로에서 기지국에 가까운 영역의 전파특성에 근사하게 된다.

$L_{AB\_LOS}$ 는 브레이크 포인트 이후의 LOS 전파 특성 (After Breakpoint - Line Of Sight)을 나타내는 식으로 다음의 형태를 가정한다.

$$L_{AB\_LOS} = A_1 + A_2 \log_{10} h_b + (B_1 - B_2 \log_{10} d + C_1 \log_{10} h_m + 20 \log_{10} f) \quad (6)$$

위 식에서  $A_1, A_2, B_1, B_2$ 는 측정데이터의 회귀 분석으로부터 구할 수 있으며  $h_b$ 와  $d$ 는 각각 기지국 안테나 높이와 기지국으로부터 이동국까지의 거리(m)를 나타낸다. 안테나 높이에 대한 특성은 여러 연구에서 나타난 바와 같이 로그 특성을 가지는 것으로 알려져 있다[1,5]. 주파수 보정요소는 자유공간모델을 따르는 것으로 가정한다[7].

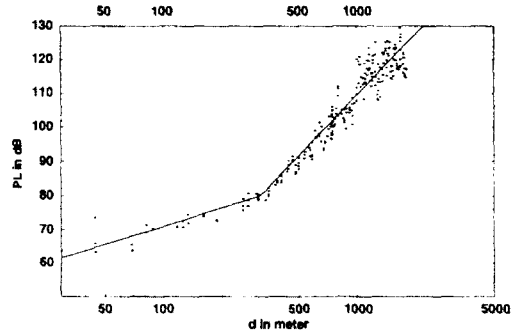
실험으로부터 이동국 안테나 높이에 따른 보정요소  $C_1 \log_{10} h_m$ 은 이동국 안테나  $h_m$ 이 1-10m 범위에서는  $10.2 \log_{10}(h_m/2.5)$ 와 같이 간단한 식으로 근사된다[12]. LOS 전파측정 데이터의 회귀분석을 통해 브레이크 포인트 이후의 전송손실 공식을 구한 결과는 다음과 같다.

$$L_{AB\_LOS} = -125.9 + 95 \log_{10} h_b + (84.7 - 41.9 \log_{10} h_b) \log_{10} d + 10.2 \log_{10} (h_m / 2.5) + 20 \log_{10} (f / 1920) \quad (7)$$

식 (7)의 이동국 안테나 높이 보정항에서 2.5와 1920은 실험 데이터 취득에 사용된 이동국 안테나 높이(m)와 중심 주파수(MHz)이다. 또한  $d$ 는 기지국과 이동국간 거리로서 50m-3km 정도를 유효범위로 한다. 안테나 높이에 대한 기울기를 살펴보면 40-60 dB/dec으로 브레이크 포인트 이후에서 급격한 감쇄를 나타낸다.

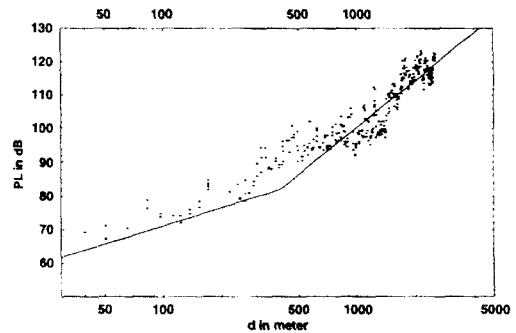
그림 6, 7, 8에서 측정데이터와 제안된 모델(식 (4), (5), (7))을 적용하여 도시하였으며 표3은 각 안테나 높이에 대해 제안모델의 파라미터와 측정데이터의 비교결과를 정리하였다.

제안 모델로부터 구한 브레이크 포인트는 이론적 인값(식(2))보다 기지국쪽으로 더 가까운 거리에서 나타남을 알 수 있다. 이는 이동국과 기지국간 측정 경로상의 다른 차량들에 의해 신호의 반사지면이 상



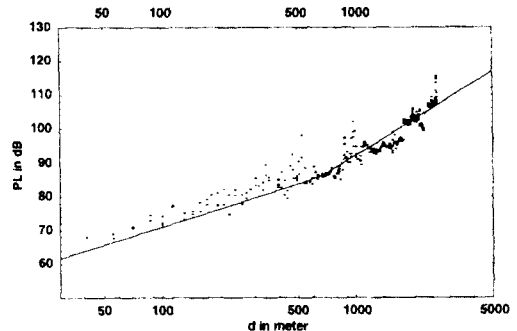
Freq.=1920.1MHz,  $d_{break} = 317m$

그림 6. 마이 LOS 모델(AB-LOS),  $h_b = 4m$



Freq.=1920.1MHz,  $d_{break} = 400m$

그림 7. 마이 LOS 모델(AB-LOS),  $h_b = 8m$



Freq.=1920.1MHz,  $d_{break} = 661m$

그림 8. 마이 LOS 모델(AB-LOS),  $h_b = 15m$

표 3. 제안 LOS 전  $\epsilon$ (AB-LOS) 회귀 결과

$h_b(m)$	4	8	15
$L_d(dB)$	38	38	38
$n_1(dB/dec)$	20	20	20
$n_2(dB/dec)$	59.4	46.8	35.3
STD(dB)	3.84	5.01	3.64
$d_{break}(m)$	317	400	661

승하는 효과를 나타내기 때문이다. 즉, 자동차 지붕에 의한 반사 지면의 상승 효과는 안테나 높이가 낮아지고 브레이크 포인트가 이론치 보다 작아지게 된다[11]. 제안된 모델은 Two Line 모델이 가지는 물리적 특성(브레이크 포인트)을 충분히 고려하면서 오차범위를 같은 수준으로 유지할 수 있다. 또한 다양한 안테나 높이에 대해 하나의 간단한 식으로 사용할 수 있으므로 고속도로와 같은 LOS 구간에서의 실용적 모델로서 적용하는 것을 기대할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 1.9GHz 대역의 LOS 전파특성 연구를 위해 전파측정과 데이터 분석 결과를 나타낸다. 마이크로셀 LOS전파 특성을 나타내는 브레이크 포인트를 이용해 전파경로를 두개의 전파특성을 가지는 영역으로 분리하고 기지국에서 가까운 곳은 자유공간손실 모델을, 브레이크 포인트 이후의 먼 영역은 측정데이터의 회귀분석을 통해 구한 전송손실 식을 적용하였다. 이때 회귀분석을 위해 사용된 데이터는 이론적으로 계산되는 브레이크 포인트 이후의 데이터만을 사용하며 먼 영역의 특성을 잘 반영한다. 또한 기지국 안테나 보정 요소를 기술기에 반영함으로써 제안된 전송손실 모델은 일반적 적용이 가능하다.

제안된 모델의 성능평가를 위해 측정데이터와의 표준편차와 오차평균을 구하고 세가지 안테나 높이에 대해 표준편차는 5dB이내의 양호한 결과를 얻었다.

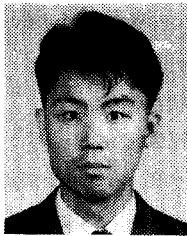
본 연구에서는 측정지역 주위에 장애물이 없고 차량 통행이 적은 개방지역과 부심(suburban) 지역에서의 LOS 전파손실 예측에 관한 기본식을 제공한다. 추

후 차량 통행이 많고 도로주변의 전파가이드 역할을 하는 도심지역의 보정 요소, 즉 도로방향, 도로폭, 건물밀도등을 고려한다면 실제 무선망 설계와 전파분석에 도움이 되리라고 사료된다.

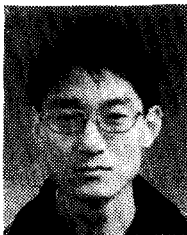
### 참 고 문 헌

1. M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. VT-29, pp.317-325, Aug. 1980.
2. Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile services," *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 15, pp. 825-873, 1968.
3. European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research EURO-COST 231, "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands," Revision 2, The Hague, September 1991.
4. Michael C. Lawton, J.P. McGeehan, "The Application of a Deterministic Ray-Launching Algorithm for the Prediction of Radio Channel Characteristics in Small-cell Environments", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 43, No.4, Nov. 1994.
5. H. H. Xia, H. L. Bertoni et al, "Radio Propagation Characteristics for Line-Of-Sight Microcellular and Personal Communications," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 41, No. 10, October 1993.
6. K. Low, "Comparison of Urban Propagation Model with CW Measurements," *Proc. IEEE 42nd VTC*, pp.936-942, 1992.
7. Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications-Principles and Practice*, IEEE Press Prentice Hall, 1996.
8. MLJ Co.(Moffet Larson & Johnson), *PCS20A/PathSearch User's Guide*, MLJ, 1996.

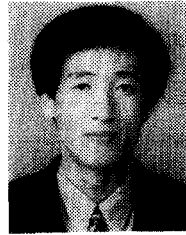
9. TrimbeNavigation Co., *Placer™ GPS/DR Installation and Operation Manual*, 1993.
10. 무선 설계시스템 개발, 한국통신 연구개발본부 무선통신연구소, December 1996.
11. 小田 恭弘, 常川 光一, "Advanced LOS path loss model considered with the actual urban environment for microcellular mobile communications," *電子情報通信學會 信學技報*, AP96-60, Oct. 1996.
12. 市坪 信一, 古野 辰男, 長戸 健, 多賀 登喜雄, 川崎 良治, "2GHz-Band Propagation Loss Prediction in Urban Areas; antenna heights ranging from ground to building roof," *電子情報通信學會 信學技報*, AP96-15, May 1996.
13. W.C.Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley Interscience, 1993.



**김 준 철(Jun Chul Kim)**정회원  
 1971년 5월 30일생  
 1994년 2월: 인하대학교 공과대학 전자공학과(공학사)  
 1996년 2월: 인하대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1996년 2월~현재: 한국통신 연구개발본부 무선통신 연구소 전임연구원  
 <연구분야> 전파전파, 무선망설계, 무선통신기술



**황 원 택(Won Taik Hwang)**정회원  
 1971년 4월 7일  
 1994년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 졸업  
 1996년 2월: 서울시립대학교 대학원 전자공학과 졸업  
 1996년 2월~현재: 한국통신 연구개발본부 전임연구원  
 <연구분야> 무선망설계, 디지털통신 및 코딩이론, 셀룰라CDMA, 위성통신시스템.



**정 현 민(Hyun Meen Jung)**정회원  
 1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1986년 2월: 연세대학교 본대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1986년 2월 ~ 1992년 2월: 한국통신 연구개발본부  
 1996년 2월: 연세대학교 본대학원 전자공학과 (공학박사)  
 1996년 2월~현재: 한국통신 무선통신연구소 무선망 설계연구실장  
 <연구분야> 무선망 설계 엔지니어링, 영상신호처리, 영상부호화입.



**김 상 명(Sang Myung Kim)**정회원  
 1986년 2월: 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1988년 8월: 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1995년 2월: 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1995년 8월~현재: 한국통신 무선통신연구소 선임연구원