

마이크로셀룰라 환경에서의 차세대 이동 통신을 위한 전파 전파 특성

Wave Propagation Characteristics for Mobile Communications beyond 3G in Microcellular Environments

조 한 신 · 육 종 관

Han-Shin Jo · Jong-Gwan Yook

요 약

본 논문에서는 차세대 이동 통신을 위한 전파 전파 특성을 분석하기 위해 3.4, 5.3, 6.4 GHz 대역 신호를 이용하여 마이크로 셀 형태의 주거 및 도로 지역에서 측정된 경로 손실을 제시하였다. 한국의 대표적인 주거 지역 형태인 아파트 지역과 주택 지역의 경로 손실 특성을 비교 분석하였으며 기존의 COST231-Hata 모델과도 비교하였다. 측정 결과 동일한 주파수에 대하여 두 주거 지역의 표준 편차는 주거 지역에 따른 경향이 없는 반면, 경로 손실 지수는 아파트 지역이 큰 경향을 보였다. 마이크로 셀 형태의 도로 지역은 가시 구간과 비가시 구간으로 구분하여 측정을 수행하고 경로 손실 특성을 분석하였다. 가시 구간의 경우 3.4, 5.3, 6.4 GHz 모두에 대해 측정을 통한 경로 손실 값은 이론적인 경계 내에 위치하고 있으며 breakpoint의 위치는 이론값에 비해 6% 정도 감소하는 사실을 확인할 수 있었다. 비가시 구간의 경우 가시 영역에서 비가시 영역으로 전환되는 지점에서 수신 전력은 급속하게 감소하며 가시 영역에 비해 비가시 영역의 경로 손실 지수가 큰 결과를 보였다. 그리고 송신단에서 코너까지의 거리가 증가할수록 비가시 영역에서의 경로 손실 지수와 코너 손실이 증가하는 현상을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper presents the a measured path-loss characteristics for mobile communications beyond 3G in microcellular residential area and street microcell at 3.4, 5.3, and 6.4 GHz band signals. The residential area is divided into two sections, one of which is composed of fifteen-story apartment buildings. The other section comprises four-story houses. The street microcell is classified line-of-sight(LOS) and nonline-of-sight(NLOS) areas. Both residential areas have standard deviations independent of the residential area classification, whereas the path loss exponents in the apartments is higher than those in area for same frequencies. A two-ray model is applied to analyse the path-loss characteristics in LOS areas. In LOS areas, an empirical breakpoint, whose distance is 6 percent shorter than a theoretical breakpoint, is founded. Further, a sudden power level drop occurs at a transition point from LOS region to NLOS area. Path loss exponent is found to be significantly higher for non-LOS region than for LOS region. The power level drop due to corner loss and path-loss exponents both increase as the distance between the transmitter and the corner increases.

Key words : Microcellular Residential Area, Mobile Communications Beyond 3G, Path Loss, Street Microcell, Wave Propagation

I. 서 론

국제전기통신연합(ITU: International Telecommuni-

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20060313-022

· 수정완료일자 : 2006년 5월 12일

cation Union)은 2003년 5월에 개최된 WRC-03(World Radiocommunication Conference-03)에서 차세대 이동 통신용 주파수를 검토하도록 WRC-07에 관련 의제를 포함시켰다^[1]. ITU-R WP8F는 IMT-2000 진화 시스템과 이후 시스템을 위해 이동 상태에서 100 Mbps 데이터 속도를 제공할 수 있는 6 GHz 이하의 주파수 대역과 정지 상태에서 1 Gbps 데이터 속도를 제공할 수 있는 6 GHz 이상 70 GHz 이하의 주파수 대역에 대한 잠재적인 후보 대역을 조사하고 있다^[2]. 현재 2 GHz 대역에는 IMT-2000 시스템이 서비스 중이기 때문에 이동성을 보장하는 IMT-2000 이후의 시스템을 위한 대역으로는 3~6 GHz가 유력한 후보로 제안되고 있다. 이처럼 차세대 이동 통신은 기존의 2, 3세대 이동 통신보다 높은 주파수를 이용할 뿐만 아니라 대용량 멀티미디어 데이터의 고속 전송을 보장할 수 있어야 한다. 이러한 요구 사항을 만족할 수 있는 통신 시스템의 구축을 위해서는 3~6 GHz 대역의 전파 전파 특성에 대한 연구가 선행되어야 하는데, 현재까지 이 대역에 대한 연구가 미비한 실정이다.

본 논문에서는 3~6 GHz 대역 중 3.4, 5.3, 6.4 GHz에 대해 측정을 수행하였으며 기존의 2, 3세대 셀룰라 이동 통신을 위해 제안되어 있는 전파 모델에 대한 선행 연구에 기초하여 송수신 시스템을 설치하고 수신 전력을 측정하였다. 그리고 보다 정확한 송수신단간의 거리 데이터를 얻기 위해 GPS 신호 수신 장치를 이용하였다. 위와 같은 측정을 통해 수집된 수신 전력과 거리 데이터를 바탕으로 다양한 지역의 경로 손실 특성을 분석하였다. 측정 지역은 크게 마이크로 셀 형태의 주거 지역과 마이크로 셀 도로 지역으로 구분하였다. 주거 지역은 구성 건물의 높이나 밀도가 상이한 아파트 지역과 주택 지역으로 구분하여 경로 손실을 측정하였으며 이를 통해 아파트 지역 전반적인 경로 손실 값은 기존의 COST-231-Hata 부도심 모델과 거의 일치함을 알 수 있었다. 한편 도로 지역은 가시 영역과 비가시 영역으로 구분하여 가시거리 직선 경로 구간에서의 경로 손실 특성과 코너에 의한 경로 손실 특성에 대하여 분석하고 이론적인 모델과 비교하였다. 가시 영역의 경로 손실은 기존의 2-ray 모델과 거의 일치하였으며 비가시 영역으로 진입시에 발생하는 코너 손실은 10~16 dB임을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 측정에 이용한 장비에 대해 설명하였고 3장에서는 주거 지역에서의 경로 손실 특성에 대해 분석하였다. 그리고 4장과 5장에서는 각각 거리 지역의 가시 영역과 비가시 영역에서의 경로 손실 특성을 분석하고 결론으로 결론을 제시하였다.

II. 측정 장치 구성

본 논문에서는 세 가지 주파수(3.4, 5.3, 6.4 GHz)에 대해 경로 손실을 측정하였다. 측정 시스템은 그림 1에 제시된 것처럼 송신단과 수신단으로 구성되어 있으며 측정 주파수에 따라 power amp와 LNA를 교체하였다. 송신단은 cw-generator, power amp, 송신 안테나와 각 시스템 구성 장치를 연결하기 위한 RF cable로 구성되어 있다. 수신단은 송신단으로부터 도달한 신호를 받아들이는 부분과 GPS 신호를 받아들이는 부분으로 구성되어 있다. 송신단으로부터 도달한 신호를 받아들이는 부분은 수신 안테나, LNA, spectrum analyzer, notebook PC로 이루어진다. 수신 안테나, LNA, spectrum analyzer는 RF cable로 연결되어 있고 spectrum analyzer와 notebook PC는 GPIB cable로 연결되어 있다.

송수신단간의 정확한 거리 정보를 얻기 위해 GPS 신호 처리 시스템을 도입하였다. GPS 신호를 받아들이는 부분은 GPS 수신 안테나, GPS 신호 처리 보드, notebook PC로 구성된다. GPS 신호 처리 보드에서 나온 신호는 RS232 프로토콜을 이용하는 직렬 포트(serial port)를 통해 notebook PC에 도달한다. GPS 신호와 spectrum 신호는 각각 측정된 시간 정보를 이용하여 동기화를 맞춘 후 위치에 대해 환산하였다. 표 1은 측정에 사용된 각 주파수별 송수신 시스템

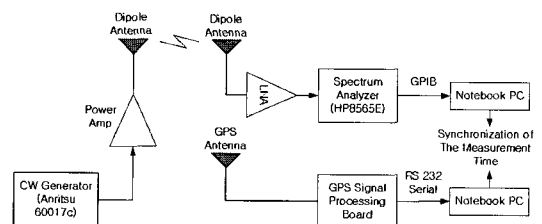


그림 1. 송수신 장비의 블록 다이어그램
Fig. 1. Measurement system block diagram.

표 1. 송수신 시스템의 출력 파워 및 대역 이득
Table 1. Transmit power and gain.

	주파수(GHz)		
	3.4	5.3	6.4
CW Generator 출력(dBm)	-20	10	-10
Power Amp 출력(dBm)	28	26	28
LNA 이득(dB)	35.7	37.6	35.2

템의 출력 및 대역을 나타낸다.

Ⅲ. 주거 지역의 경로 손실 특성

무선 채널 환경에서 송신된 전파는 반사, 산란, 회절 등의 물리적 현상을 겪으며 다중 경로를 통해 수신되기 때문에 수신 신호의 강도는 시간에 따라 변하는 특성을 보인다. 이에 따라 측정된 신호 전력 또한 시간에 따라 변하기 때문에 일정 시간에 대한 신호 전력을 평균하여 평균 경로 손실에 대한 모델을 얻을 수 있다. 경로 손실 지수와 log-normal 분포를 갖는 세도잉을 고려한 경로 손실 모델은 식 (1)과 같다³⁾.

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

위 식에서 n 은 경로 손실 지수이며 이 값은 송수신단간 거리의 증가에 따른 경로 손실의 증가량을 의미한다. 즉 n 이 큰 환경일수록 반사 및 산란체가 많이 존재하여 신호가 급격히 증가하게 된다. d_0 는 기준거리이며 d 는 송수신단 간의 거리이다. X_σ 는 세도잉에 의한 손실값으로 표준편차가 σ 이고 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수이다.

거리에 따른 경로 손실은 측정 지역 건물의 높이와 위치와 같은 환경적 요인과 주파수에 따라 차이점을 보인다. 본 논문에서는 3.4, 5.3, 6.4 GHz 세 주파수에 대해 아파트 지역과 주택 지역에서의 수신 전력을 측정하고, 식 (1)에 제시된 경로 손실 모델을 이용해 지역과 주파수에 의한 경로 손실 특성을 분석하였으며 기존의 대표적인 셀룰라 경로 손실 모델인 COST231-Hata 모델(modified Hata 모델)⁴⁾과 비교하였다.

측정을 수행한 주거 지역은 서울시 양천구 목동의 아파트 단지과 성남시 분당구 일반 주택 지역으로 구분하였으며 그림 2와 그림 3에는 각 지역과

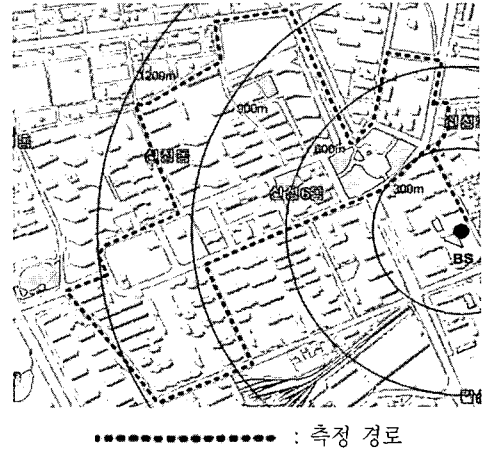


그림 2. 측정 환경 및 경로(아파트 지역)
Fig. 2. Measurement environment and route(apartment).

측정 경로가 묘사되어 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 아파트 단지는 아파트의 구성 비율이 매우 높아 아파트 지역에서의 전파 전파 특성을 분석하기 적합한 환경임을 알 수 있다. 아파트의 높이는 15층(46 m)으로 송신단보다 낮거나 거의 비슷한 분포를 보인다. 송신단(BS)은 15층 아파트의 옥상에 설치(50 m)하였고 수신단의 높이는 2 m이며 측정 경로는 그림의 점선과 일치한다. 송수신단간의 거리가 약 1 km 정도인 지역 내를 차량으로 이동하며 여러 거리에 대한 수신 전력을 얻을 수 있도록 설정하였다. 이때 측정 지점간의 이격거리가 25~30 cm를 만족하도록 차량의 이동 속도를 유지하였다. 그림 3의 주거 지역은 대부분 4층 높이(15 m)의 주택으로 구성되어 있고 송신단의 높이는 19 m이다. 따라서 아파트 지역과 동일하게 송신 안테나 주변의 건물 높이는 송신단의 높이보다 낮거나 비슷한 분포를 갖는다. 수신단의 높이는 2 m이며 송수신단간의 거리가 약 500 m 정도인 지역 내를 차량으로 이동하며 수신 전력을 측정하였다.

그림 4~6은 아파트 지역에서 3.4, 5.3, 6.4 GHz 각 주파수에 대한 수신 전력을 송신단으로부터의 거리에 따라 도시한 것이다. 송신단이 아파트 옥상에 있기 때문에 송수신단간의 최단 거리는 약 50 m 정도로 경로 손실 데이터는 50 m 이상의 거리에 대해 분포한다. 그래프상에 보이는 직선은 최소 자승법(least square method)을 이용하여 경로 손실의 추세를 보다 간략히 나타낸 것이고 이 직선과 점 데이

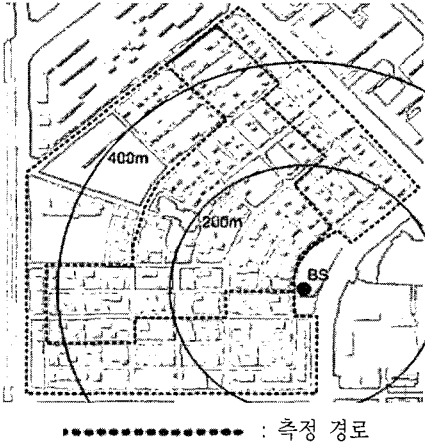


그림 3. 측정 지역 및 경로 손실 측정 경로(주택 지역)
Fig. 3. Measurement environment and route(house).

터와의 차의 평균을 이용해 경로 손실 분포의 표준 편차 σ 를 구하였다. 이 직선의 기울기는 식 (1)의 경로 손실 지수 n 이고 표준편차 σ 는 식 (1)의 X_σ 의 표준편차이다. 그림 7~9는 주택 지역에 대한 경로 손실 결과를 나타내며 주파수 및 분석 과정은 아파트 지역과 동일하다. 결과 그림을 통해 주택 지역의 평균 경로 손실은 COST231-Hata 부도심 모델과 거의 일치하고 아파트 지역은 COST231-Hata 도심 모델과 부도심 모델의 중간 값과 유사함을 알 수 있다.

표 2는 아파트 지역과 주택 지역에서 각 주파수에 따른 측정 결과로부터 계산된 경로 손실 지수와

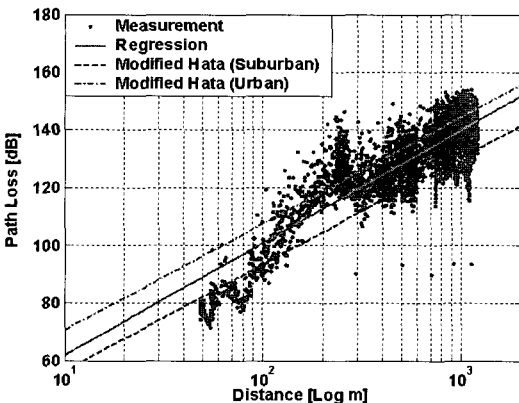


그림 4. 아파트 지역에서 측정된 경로 손실($f=3.4$ GHz, $n=3.8$, $\sigma=7.7$ dB)
Fig. 4. Measured path loss in apartment area at 3.4 GHz.

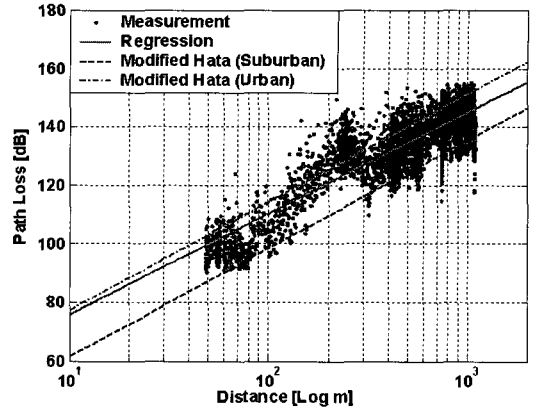


그림 5. 아파트 지역에서 측정된 경로 손실($f=5.3$ GHz, $n=3.6$, $\sigma=6.6$ dB)
Fig. 5. Measured path loss in apartment area at 5.3 GHz.

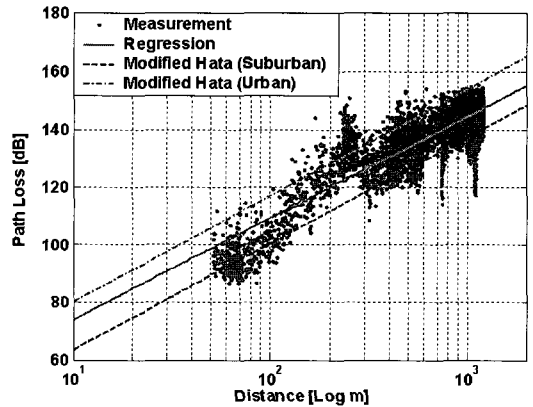


그림 6. 아파트 지역에서 측정된 경로 손실($f=6.4$ GHz, $n=3.6$, $\sigma=7.0$ dB)
Fig. 6. Measured path loss in apartment area at 6.4 GHz.

표준 편차를 나타낸다. 동일한 주파수에 대하여 두 주거 지역의 표준 편차는 6.6~7.7 정도로 주거 지역에 따른 경향이 없는 반면, 경로 손실 지수는 아파트 지역이 3.6~3.8, 주택 지역이 3.1~3.2로 아파트 지역이 큰 경향을 보였다. 주택 지역에 비해 아파트 지역의 경로 손실 지수가 큰 이유는 송신 안테나와 주변 건물 높이의 차이와 주변 건물 높이의 비율로 설명할 수 있다. COST231-Walfisch-Ikegami 모델^[4]에 의하면 송신 안테나와 주변 건물 높이의 차이 값을 주변 건물 높이로 나눈 값($\Delta h_{Base}/h_{roof}$)이 클수록 경로 손실 지수는 감소하게 된다. 결론적으

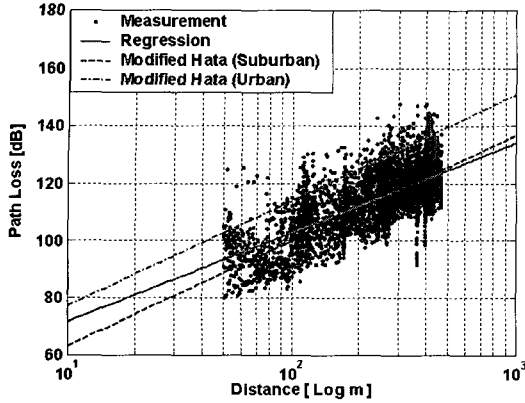


그림 7. 주택 지역에서 측정된 경로 손실($f=3.4$ GHz, $n=3.1$, $\sigma=7.1$ dB)
Fig. 7. Measured path loss in house area at 3.4 GHz.

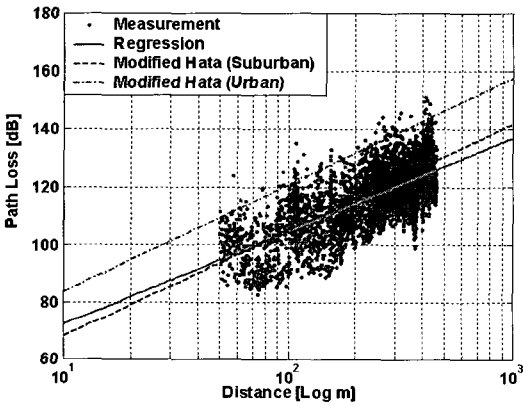


그림 8. 주택 지역에서 측정된 경로 손실($f=5.3$ GHz, $n=3.2$, $\sigma=7.2$ dB)
Fig. 8. Measured path loss in house area at 5.3 GHz.

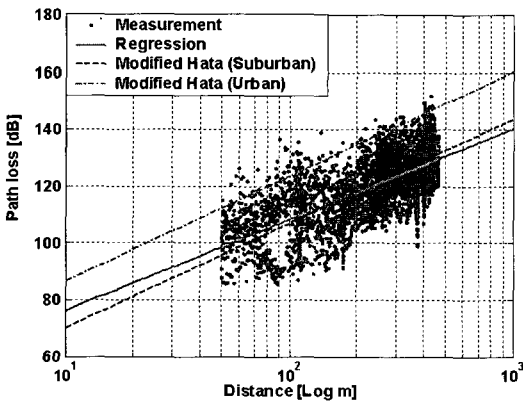


그림 9. 주택 지역에서 측정된 경로 손실($f=6.4$ GHz, $n=3.2$, $\sigma=7.6$ dB)
Fig. 9. Measured path loss in house area at 6.4 GHz.

표 2. 주택 지역과 아파트 지역에서 각 주파수에 따른 경로 손실 지수와 표준 편차

Table 2. Path loss exponent and standard deviation.

	주택 지역		아파트 지역	
	Pass Loss Exponent, n	Standard Deviation, σ	Pass Loss Exponent, n	Standard Deviation, σ
3.4 GHz	3.1	7.1	3.8	7.7
5.3 GHz	3.2	7.2	3.6	6.6
6.4 GHz	3.2	7.6	3.6	7.0

로 아파트 지역의 경우 $\Delta h_{Base}/h_{roof}$ 는 0.087, 주택 지역은 0.267이므로 주택 지역의 경로 손실 지수가 작게 된다. 이를 통해 Δh_{Base} 가 동일한 경우 주택 지역보다는 아파트 지역에서 신호의 감쇄가 크게 발생할 것으로 예측할 수 있다.

IV. 도로 지역 가시 구간의 경로 손실 특성

기존의 많은 연구에서 가시 구간의 경로 손실은 2-ray 지면 반사 모델을 통해 분석되었다^{[5]~[10]}. 이 모델의 기본 전송 손실은 하나의 breakpoint와 두 기울기로 나타낼 수 있으며 근사적인 상한값과 하한값은 각각 식 (2)와 식 (3)으로 나타낼 수 있다^[8].

$$L_{LOS,u} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \geq R_{bp} \end{cases} \quad (2)$$

$$L_{LOS,l} = L_{bp} + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \geq R_{bp} \end{cases} \quad (3)$$

위 식에서 R_{bp} 는 breakpoint 거리이며 다음과 같이 주어진다.

$$R_{bp} = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (4)$$

또한 L_{bp} 는 breakpoint에서의 기본 전송 손실값을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$R_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_t h_r} \right) \right| \quad (5)$$

기존의 연구^{[9],[12]}에 의하면 송수신단 사이에 차량

표 3. 이론과 측정에 의한 breakpoint

Table 3. Measured and theoretic breakpoint.

	주파수(GHz)		
	3.4	5.3	6.4
이론에 의한 breakpoint 거리(m)	272	424	512
측정에 의한 breakpoint 거리(m)	270	400	480

이나 사람 등의 장애물이 존재하는 경우 breakpoint 거리가 감소하게 된다. 따라서 이와 같은 효과를 최소화하기 위해 유동 인구 및 차량이 적은 시간대에 측정을 수행하였다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 직선 구간은 송신단으로부터 약 700 m까지 계속되며 측정 시작 위치는 송신단으로부터 약 50 m 정도 떨어진 지점이다. 송신단의 높이는 3 m, 수신단의 높이는 2 m이다. 그림 11~13은 각 주파수에 따른 가시 구간에서의 측정된 경로 손실 데이터이다. 경로 손실 데이터의 위, 아래 경계를 이루는 직선은 식 (2), (3)의 자유 공간 전송 모델에서의 상한과 하한을 나타내며, 각 직선이 꺾이는 지점이 breakpoint 지점이다. 3.4, 5.3, 6.4 GHz에 대한 경로 손실 데이터는 대부분 경계 내에 위치하고 있다. 표 3에 제시된 breakpoint 거리는 식 (4)를 이용하여 구할 수 있는 이론값보다 최대 6% 작았다. Breakpoint 측정 거리가 이론 거리보다 약간 작은 값을 갖는 이유는 측정시 송수신단 사이에 소수의 차량이나 사람이 존재하여 breakpoint 거리가 미소하게나마 감소하였기 때문이다. 결론적으로 측정 결과를 통해 기존의 가시 영역

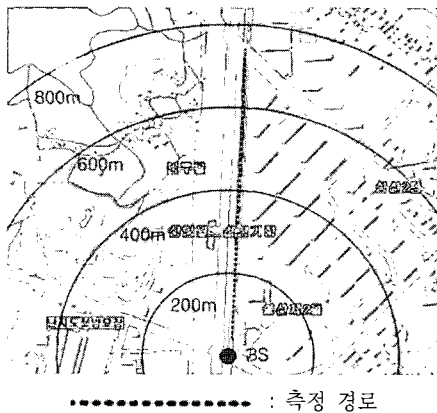


그림 10. 가시 구간 측정 환경과 측정 경로
Fig. 10. Measurement environment and route(LOS area).

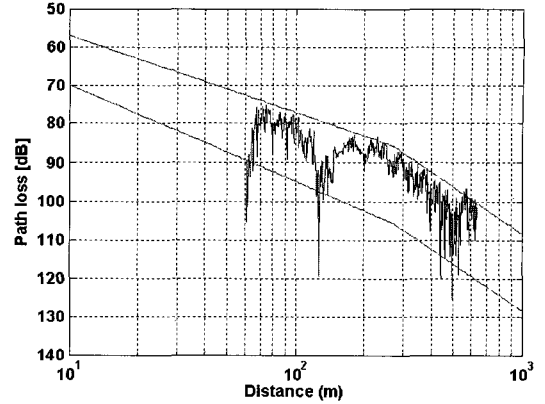


그림 11. 3.4 GHz 신호의 가시 구간 경로 손실 특성
Fig. 11. Path loss characteristics in LOS area at 3.4 GHz.

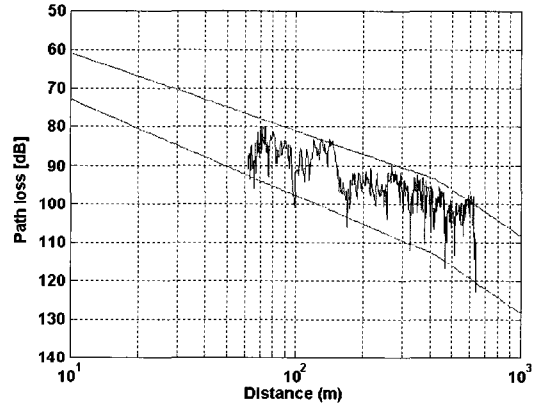


그림 12. 5.3 GHz 신호의 가시 구간 경로 손실 특성
Fig. 12. Path loss characteristics in LOS area at 5.3 GHz.

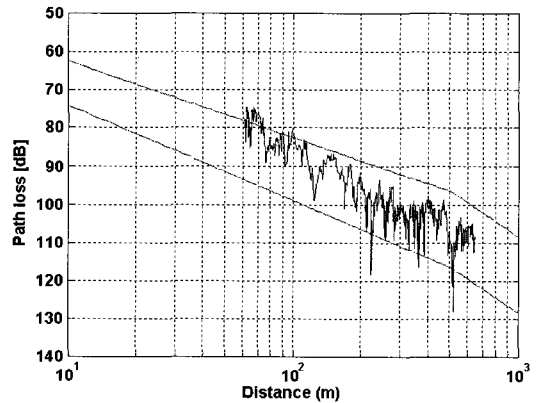


그림 13. 6.4 GHz 신호의 가시 구간 경로 손실 특성
Fig. 13. Path loss characteristics in LOS area at 6.4 GHz.

모델은 차세대 이동 통신 대역에도 적용 가능성을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 본 연구뿐만 아니라 일본 동경에서 수행된 3 GHz 이상 대역에 대한 연구에서도 관찰된다^[12].

V. 도로 지역 비가시 구간의 경로 손실 특성

코너 손실을 측정된 지역은 3~5층 높이의 상가 건물이 밀집해 있는 지역이다. 그림 14에서 볼 수 있듯이 측정 경로에 두 개의 코너 지점이 있다. 송신단으로부터 첫 번째 코너까지의 거리(가시 영역 구간의 거리)는 80 m이고 두 번째 코너까지의 거리(가시 영역 구간의 거리)는 130 m이다. 코너를 지난 이후 진행한 비가시 영역의 거리는 60 m이다. 가시 영역 구간의 도로폭은 6 m이고 첫 번째 코너를 지나는 비가시 영역 구간의 도로폭은 4.6 m, 두 번째 코너를 지나는 비가시 영역 구간의 도로폭은 6 m이다. 송신단의 높이는 3.6 m이고 수신단의 높이는 2 m이다. 세 가지 주파수에 대해 두 가지 경로를 한번씩 이동하며 GPS 데이터의 수신 전력 데이터를 얻었다. 첫 번째 경로는 80 m 지점의 코너에서 비가시 영역으로 진입하는 140 m 구간이고 두 번째 경로는 130 m 지점의 코너에서 비가시 영역으로 진입하는 190 m 구간이다. 또한 사람이나 차량에 의한 효과를 줄이기 위해 유동 인구가 없는 시간대에 측정하였다.

그림 15~20까지의 결과는 가시 영역과 비가시

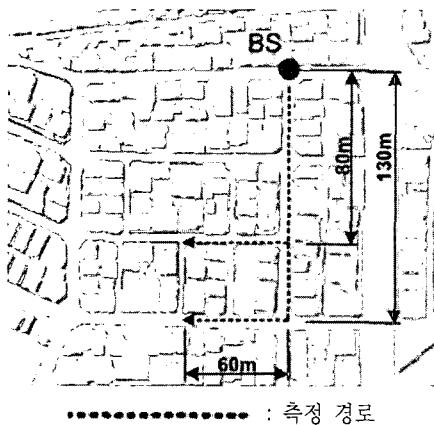


그림 14. 비가시 구간 측정 환경과 측정 경로
Fig. 14. Measurement environment and route(NLOS area).

영역의 경로 손실 데이터를 나타낸다. 코너 이전까지의 부분이 가시 영역에서의 경로 손실 데이터이며 코너 이후의 부분이 비가시 영역에서의 경로 손실 데이터를 나타낸다. 그리고 가시, 비가시 영역에 대해 최소 자승법(least square method)을 이용하여 경로 손실의 추세를 보다 간략한 직선으로 나타내었으며 직선의 기울기는 경로 손실 지수(path loss exponent)를 의미한다. 두 구간에서의 경로 손실 지수를 비교해 보면 주파수에 관계없이 비가시 구간에서의 경로 손실이 가시 구간보다 큰 현상을 관찰할 수 있다. 또한 동일한 주파수에 대해 송신단부터 코너까지의 거리가 증가하면 비가시 구간에서 직선의 기울기가

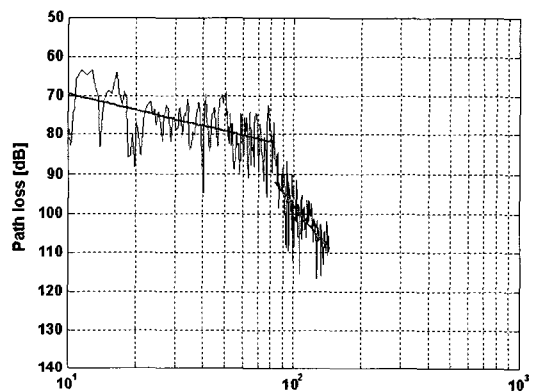


그림 15. 비가시 구간의 경로 손실 특성($f_c=3.4$ GHz, corner=80 m)
Fig. 15. Path loss characteristics in NLOS area at 3.4 GHz.

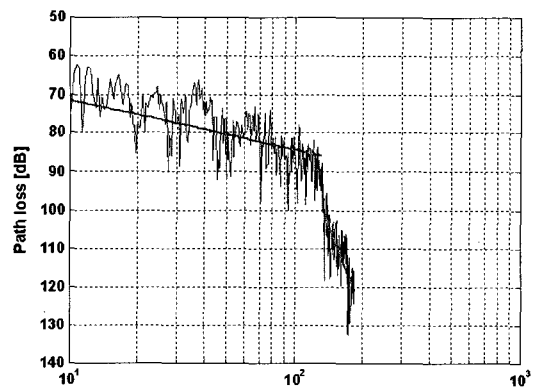


그림 16. 코너에 의한 경로 손실 특성($f_c=3.4$ GHz, corner=130 m)
Fig. 16. Path loss characteristics in NLOS area at 3.4 GHz.

증가하는 현상을 관찰할 수 있다. 표 4의 결과를 보면 송신단에서 코너까지의 거리(가시 영역 거리)가 80 m일 때 비가시 구간의 경로 손실 지수는 7~8 정도 인 반면, 가시 영역 거리가 130 m인 경우 경로 손실 지수는 12~13임을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유는 수신 전력의 세기를 반사 및 회절을 통해 수신단에 도달하는 각 레이의 합 의 세기로 예측하는 레이 모델을 통해 분석 가능하다^{[10]~[12]}. 즉 가시 영역 거리가 멀수록 비가시 영역의 벽면에서 반사되는 레이의 입사각이 작아지기 때문에 동일한 거리를 진행하기 위한 반사 횟수가 증가하

게 되고 이로 인해 경로 손실 지수는 증가하게 된다.

또한 수신기가 코너를 돌 때(가시 영역에서 비가시 영역으로 넘어가는 구간) 수신 전력이 급속하게 감소하는 현상이 관찰되며 가시 영역 거리가 증가할수록 전력의 감소량(코너 손실)이 증가함을 알 수 있다. 표 4의 결과를 통해 가시 영역 거리가 80 m일 때와 비교하여 가시 영역 거리가 130 m일 때 코너 손실이 최대 3 dB 증가함을 확인할 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 이유 또한 레이 모델을 통해 설명이 가능하다. 즉 코너 지역에서의 급속한 전력 감소량은 비가시 영역으로 진입하기 직전의 위치에 도

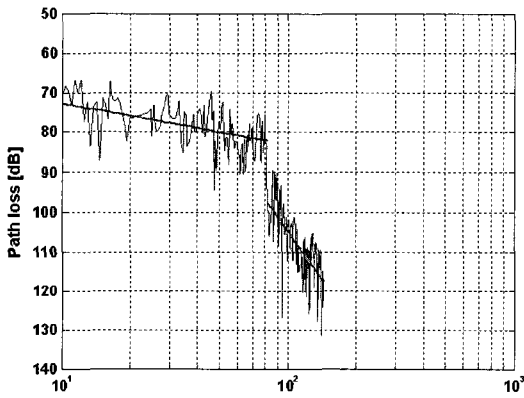


그림 17. 코너에 의한 경로 손실 특성($f_c=5.3$ GHz, corner=80 m)
Fig. 17. Path loss characteristics in NLOS area at 5.3 GHz.

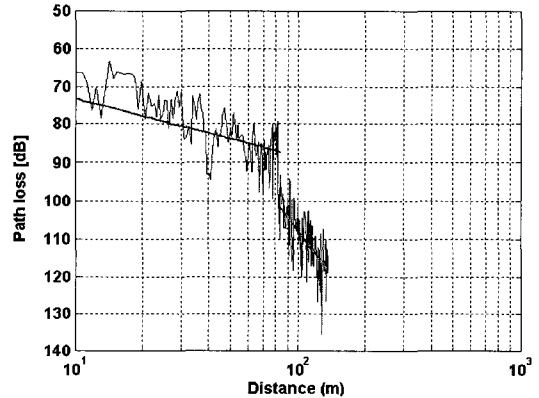


그림 19. 코너에 의한 경로 손실 특성($f=6.4$ GHz, corner=80 m)
Fig. 19. Path loss characteristics in NLOS area at 6.4 GHz.

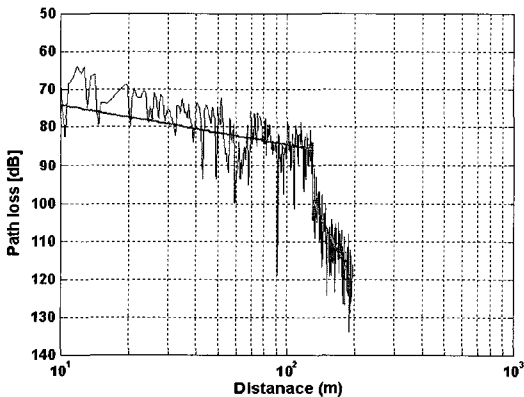


그림 18. 코너에 의한 경로 손실 특성($f_c=5.3$ GHz, corner=130 m)
Fig. 18. Path loss characteristics in NLOS area at 5.3 GHz.

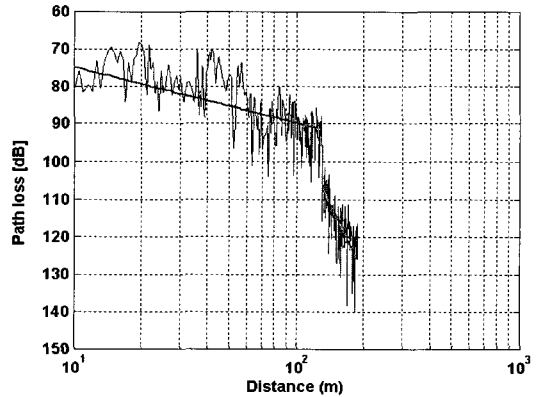


그림 20. 코너에 의한 경로 손실 특성($f=6.4$ GHz, corner=130 m)
Fig. 20. Path loss characteristics in NLOS area at 6.4 GHz.

표 4. 주파수와 코너의 위치에 따른 비가시 영역에서의 경로 손실 특성
Table 4. Path loss exponent and corner loss.

	주파수					
	3.4 GHz		5.3 GHz		6.4 GHz	
송신단에서 코너까지 거리(m)	80	130	80	130	80	130
Pass loss exponent in LOS	1.35	1.30	1.04	1.04	1.51	1.48
Pass loss exponent in NLOS	7.19	13.60	8.06	12.36	7.85	12.08
코너에서의 전력 감소(dB)	10	13	15	15	15	16

달하는 레이들의 세기와 비가시 영역으로 진입한 직후의 위치에 도달하는 레이들의 세기의 차이로 생각할 수 있다. 따라서 가시 영역 거리가 멀수록 비가시 영역에 도달할 수 있는 레이의 수가 감소하기 때문에 코너에서의 전력 손실은 증가하게 된다.

기존의 연구^[12]에서 3.35, 8.45, 15.75 GHz 대역 신호의 코너 손실은 가시 영역 거리가 64 m일 때 17, 22, 23 dB이며, 가시 영역 거리가 429 m일 때 코너 손실은 16, 28, 22 dB이다. 이 값은 본 연구에 제시된 코너 손실 10~16에 비해 큰 값을 알 수 있으며 이와 같은 결과가 발생한 이유는 참고문헌 [12]에서 측정된 신호의 주파수가 더 높기 때문이다. 참고문헌 [12]에서 attenuation coefficient(본 논문에서는 비가시 구간 경로 손실 지수)는 가시 영역 거리가 64, 429 m인 경우에 대해 각각 4.1~4.9, 12~28의 분포를 보인다. 한편 본 연구에서는 가시 영역 거리가 80, 130 m인 경우에 대해 비가시 구간 경로 손실 지수는 7~8, 12~13의 분포를 갖는다. 두 결과의 비교를 통해 가시 영역 거리가 증가함에 따라 비가시 영역 경로 손실 지수가 증가하는 현상을 확인할 수 있다. 또한 기존의 연구^[13]에서 3.35, 5.2, 8.45 GHz 대역 신호의 코너 손실은 15~25 dB이고 비가시 구간 경로 손실 지수는 7~17의 분포를 보인다. 참고문헌 [13]에서 가시 영역 거리는 400 m 이상으로 본 논문의 측정 환경의 가시 거리 80, 130 m보다 크기 때문에 코너 손실과 비가시 구간 경로 손실 지수 모두 본 논문의 결과보다 큰 값을 보이는 현상을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동 통신을 위한 전파 전

파 특성을 분석하기 위해 3.4, 5.3, 6.4 GHz 대역 신호를 이용하여 마이크로 셀 형태의 주거 및 도로 지역에서 수신 전력을 측정하였다. 한국의 대표적인 주거 지역 형태인 아파트 지역과 주택 지역의 경로 손실 특성을 비교 분석하였으며 기존의 COST-231-Hata 모델과도 비교하였다. 측정 결과 동일한 주파수에 대하여 두 주거 지역의 표준 편차는 6.6~7.7 정도로 주거 지역에 따른 경향이 없는 반면, 경로 손실 지수는 아파트 지역이 3.6~3.8, 주택 지역이 3.1~3.2로 아파트 지역이 큰 경향을 보였다. 또한 주택 지역의 평균 경로 손실은 COST231-Hata 부도심 모델과 거의 일치하였으며 아파트 지역은 COST231-Hata 도심 모델과 부도심 모델의 중간 값과 유사하였다. 마이크로 셀 형태의 도로 지역은 가시 구간과 비가시 구간으로 구분하여 측정을 수행하고 경로 손실 특성을 분석하였다. 가시 구간의 경우 3.4, 5.3, 6.4 GHz 모두에 대해 측정을 통한 경로 손실 값은 이론적인 경계 내에 위치하고 있으며 breakpoint의 위치 또한 이론적인 값과 6 % 이내의 오차로 거의 비슷한 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 기존의 2-ray 모델은 차세대 이동 통신 대역에도 적용이 가능하다. 비가시 구간의 경우 경로 손실 지수는 7~8 정도의 분포를 보이며 코너 손실은 10~16 dB였다. 그리고 송신단에서 코너까지의 거리가 증가할수록 비가시 영역에서의 경로 손실 지수와 코너 손실이 증가하는 현상을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-R Recommendation M. 1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", Jun. 2003.

- [2] ITU-R WP 8F/TEMP/209-E, "Preliminary draft new report on radio aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", Feb. 2005.
- [3] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall, 1996.
- [4] COST Action 231, "Digital mobile radio towards future generation systems, final report", *Tech. Rep., European Communities*, EUR 18957, 1999.
- [5] Howard H. Xia, Henry L. Bertoni, Leandro R. Maciel, Andrew Lindsay-Stewart, and Robert Rowe, "Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications", *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 41, no. 10, Oct. 1993.
- [6] P. Harley, "Short distance attenuation measurements at 900 MHz and 1.88 GHz using antenna heights for microcells", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Jan. 1989.
- [7] E. Green, M. Hata, "Microcellular propagation measurements in an urban environment", *IEEE Int'l Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.*, Sep. 1991.
- [8] L. B. Milstein et al., "On the feasibility of a CDMA overlay for personal communications networks", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, May 1992.
- [9] Yasuhiro Oda, Koichi Tsunekawa, and Masaharu Hata, "Advanced LOS path-loss model in microcellular mobile communications", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, no. 6, pp. 2121-2125, Nov. 2000.
- [10] Vinko Erceg, Saeed Ghassemzadeh, Maxwell Taylor, and Dong Li, "Urban/Suburban out-of-sight propagation modeling", *IEEE Commun. Mag.*, pp. 56-61, Jun. 1992.
- [11] Vinko Erceg, A. J. Rustako, and Jr., R. S. Roman, "Diffraction around corners and its effects on the microcell coverage area in urban and suburban environments at 900 MHz, 2 GHz, and 6 GHz", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 762-766, Aug. 1994.
- [12] H. Masui, M. Ishii, K. Sakawa, H. Shimizu, T. Kobayashi, and M. Akaike, "Microwave path-loss characteristics in urban LOS and NLOS environments", in *Proc. 53rd IEEE VTC, Spring*, vol. 1, pp. 395-398, 2001.
- [13] Kazumasa Taira et al., "Propagation loss characteristics for microcellular mobile communications in microwave band", *Technical Report of IEICE*, pp. 85-90, 1996.

조 한 신



2001년 8월: 연세대학교 기계전자공학부 (공학사)
 2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 공유 분석, 무선 통신

채널 모델링, resource allocation for Multiuser MIMO/OFDM systems

육 종 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 부교수
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조