
60GHz 대역에서의 전파 환경별 경로손실 및 도래각 측정

송기홍*

Radio Path Loss and Angle of Arrival Measurements to the Radio Environments at 60GHz

Ki-Hong Song*

요약

피코셀 무선 통신용으로 이용이 확대되고 있는 밀리미터 파대의 전파 특성을 분석하기 위하여 60GHz대역에서 신호 세기를 측정하고, 측정된 데이터를 이용하여 경로손실 지수 및 표준편차를 제시하였다. 수신 신호 세기에 영향을 미치는 다중경로파의 도래 방향을 파악하기 위하여 도래각의 분포를 측정하였다.

분석 결과, 측정 환경에서 경로손실 지수는 자유 공간에서의 경로손실 지수인 2보다 작게 나타났으며, 신호세기에 많은 영향을 미치는 바닥면의 재질에 따라 다르게 나타났다. 다중 경로파의 도래각 분포는 송수신기가 위치한 주변 환경 구조에 따라 달라진다. 즉, 체육관, 운동장 등과 같이 측정 환경이 넓은 곳에서는 직접파와 지면 반사파를 제외한 다중경로파를 확인하기 어려웠으나 복도에서는 양쪽 벽면에 의한 다중경로파도 수신기에 도래하는 것을 볼 수 있다. 60GHz대의 주파수 특성상 반사파의 크기는 직접파의 크기에 비해 미약하여 수신 신호 세기에 거의 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다.

ABSTRACT

This paper presents the measured path loss exponents and standard deviations using measured data at 60GHz to analyze the propagation characteristics of millimeter wave bands having great demand for picocellular communications. In addition, the angle of arrival(AOA) were measured to analyze the arrival direction of multipath waves affecting the received signal strength.

As results of analysis, the pathloss exponents in each environment are found to be lower than 2 for free space pathloss exponent. They were determined with the qualities of bottom materials affecting signal strength. The angles of arrival by multipath waves were different with the circumference structures between transmitter and receiver. That is, the multipath waves excluding direct and ground reflected wave were difficult to find in wide space such a gymnasium and playground, however the wall multipath waves were found to arrive at receiver in the corridor. The multipath waves at 60GHz can be known to hardly affect to the received signal strength because of weak signals compared with direct wave.

키워드

밀리미터 파대, 경로손실 지수, 표준편차, 도래각, 피코셀

I. 서론

최근 대용량의 데이터 전송 수요가 폭발적으로 증가

함에 따라 고정통신 시스템용으로 사용되어 왔던 밀리미터파 대역이 데이터를 위한 홈네트워크, 사무실에서의 무선랜 경우에도 사용될 것으로 예상된다. 특히, 60GHz

* 동의과학대학(Dong Eui Institute of Technology)

대 밀리미터파는 대기중 산소에 의한 산소흡수가 심하여 거리에 따른 감쇠가 늘어나 근거리 전파 감쇠가 커 수백m이내의 근거리 통신용으로 적합한 대역이어서 WLAN, WPAN에 적합한 주파수라 할 수 있다[1,2].

60GHz 주파수 대역의 전파 특성은 대기중의 산소 분자에 의한 신호의 98%는 대기 중 산소분자에 의해 흡수되는 현상 때문에 동일 채널 간섭 확률이 작아진다. 따라서 동일한 주파수를 재사용하므로 경제적인 시스템의 구성이 가능해진다. 또한 60GHz 주파수 대역의 파장은 밀리미터 단위로 아주 작기 때문에 안테나 및 RF 송수신기의 소형 경량화가 가능하며, 무선신호에 대한 인체의 영향이 큰 사회적인 문제가 되고 있지만 60GHz 대역의 신호는 기본적으로 저전력(수십mW 단위)을 사용하게 되어 있으므로 인체에 미치는 영향이 작다[3].

본 논문은 60GHz대역 전파자원의 효율적 이용을 위하여 다양한 적용 환경에서 전파 신호 세기를 측정하여 경로손실 지수와 표준편차 등을 계산하였다. 또한 각 환경에서 다중경로파의 도래각에 따른 신호 변화 특성을 파악하기 위하여 도래각에 따른 수신 신호 패턴을 측정하고 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 60GHz대 주파수 특성을 측정할 수 있는 신호 측정 시스템 구성을 소개하고, 제3장과 4장에서는 전파환경별 정계강도 및 도래각 특성을 측정하고 분석한 결과를 제시하였으며, 제5장인 결론에서는 전체 검토 결과를 정리하였다.

II. 60GHz 신호측정 시스템 구성

그림 1은 측정을 위해 구성된 측정시스템의 구성도로서 크게 송신부와 수신부로 구성된다. 송신부는 60GHz 대 CW신호를 발생할 수 있는 신호 발생기와 신호 발생기의 출력을 보다 크게 증폭하기 위한 증폭기, 그리고 측정대역에서 이용 가능한 송신 안테나로 구성되어 있으며, 안테나를 통하여 전파를 송신하도록 하는 안테나 마스트(antenna mast)로 이루어져 있다. 수신부는 60GHz대 신호를 수신할 수 있는 안테나와 스펙트럼 분석기(Agilent 4404B)로 구성되어 있으며, 이를 제어하기 위해 GPIB인터페이스와 노트북으로 구성되어 있다. 특히, 수신부는 60GHz의 전파신호를 1GHz IF주파수의 신호로

변환한 후 spectrum analyzer를 이용하여 신호레벨을 수신하였으며, GPIB를 이용하여 실시간의 신호레벨을 저장한다.

실제 측정은 그림 2와 같이 60GHz전파 신호의 주변 구조물에 의한 신호변화 현상인 페이딩 현상을 파악하기 위하여 1mm씩 정밀하게 이동하면서 측정할 수 있도록 200mm 길이의 이동 레일을 제작하였으며, 1초에 1mm씩 이동을 제어하기 위하여 PLC통신을 이용하였다. 이와 같이 모든 시스템을 자동으로 구동하기 위한 GUI를 제작한 후, 수신기를 이동한 다음 수신되는 신호의 레벨을 저장하는 시스템으로 구성된다.

측정에 사용된 송수신 안테나는 경로손실 특성이 매우 큰 60GHz대역의 전파 신호에 대한 수신 신호 세기를 보상하기 위하여 이득 특성이 우수한 Horn 안테나를 사용하며, 24dBi, 14dBi 및 10dBi 이득을 가진다. 또한 안테나 마스터의 높이를 조절이 가능하도록 제작되었다.

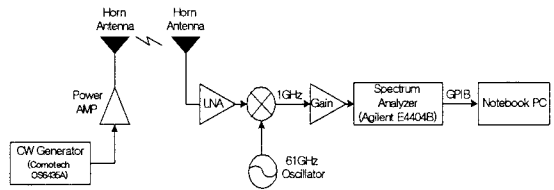


그림 1. 60GHz 전계강도 측정 시스템
Fig. 1 60GHz signal strength measurement system

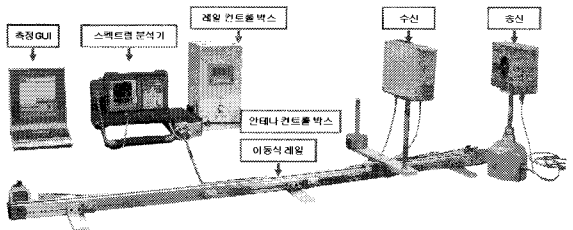


그림 2. 전계강도 측정 시스템 구성
Fig. 2 Composition of signal strength measurement system

III. 전파 환경별 전계강도 측정

3.1. 경로손실 모델

밀리미터파 채널 환경에서 송신된 전파는 반사, 산란, 회절 등의 물리적 현상을 겪으며, 다중 경로를 통해 수신되기 때문에 수신 신호의 세기는 공간 및 시간에 따라 변하는 특성을 가진다.

거리 d 만큼 떨어진 송신기로부터의 수신전력은 경로손실과 관계가 있으며, 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r(d) = P_t + G_t + G_r - PL(d) \quad (1)$$

여기서 P_t 는 송신전력, G_t 와 G_r 은 송신기 및 수신기 안테나 이득이다. 경로손실은 다음과 같이 모델화할 수 있다[4,5].

$$PL(d) = PL_0 + 10n \log(d) + X_m \quad (dB) \quad (2)$$

여기서 PL_0 는 $d=1$ 에서의 기준 경로손실을 나타낸다. n 은 경로손실 지수이며, d_0 는 기준거리이며 d 는 송수신기 간 거리이다. X_m 은 주변 장애물 또는 지형 구조에 의한 손실값으로 표준편차가 σ 이고 평균이 m 인 가우시안 랜덤 변수이다.

경로손실지수는 첫번째 프레넬 영역(First Fresnel zone)이 지면에 의해 차단되는 지점인 변곡점(breakpoint) 전후에서 크게 달라진다[6].

$$R_{bp} = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (3)$$

여기서 h_t 는 송신 안테나 높이, h_r 은 수신 안테나 높이 및 λ 는 60GHz 주파수의 파장을 나타낸다. 본 측정에서 송신 안테나의 높이가 0.5m, 수신 안테나의 높이가 0.5m인 경우 60GHz에서의 변곡점은 식 (3)에 의해 약 200m가 되어 측정 범위 이상이 되므로 변곡점 영향을 고려하지 않는다.

3.2. 전파 환경별 신호세기 측정

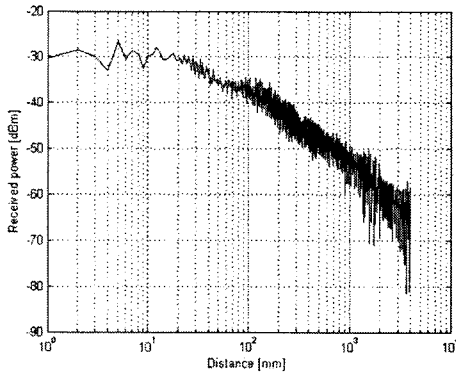
경로손실 측정은 안테나마스터에 송신기를 설치하고 2m 길이를 가진 이동식 레일에 수신기 설치 후, 수신기를 1mm씩 이동하면서 수신되는 신호를 측정한다. 원하는 측정거리에 대하여 수신기가 설치된 이동식 레일을 반복적으로 이동하여 최대 50m까지 측정하며, 측정은 체육관, 옥상, 실습실, 강의실, 운동장, 복도 등 6곳에서 수행하였다.

3.2.1 체육관

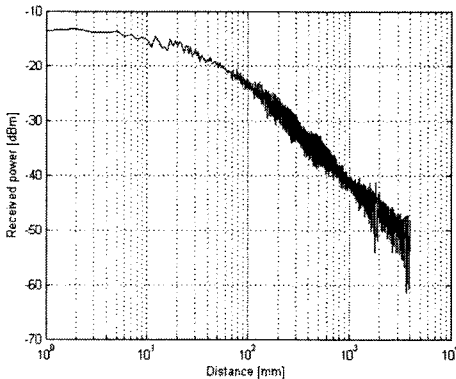
그림 3은 바닥이 나무 재질로서 직접파와 지면 반사파의 영향이 우세한 실내 체육관에서 이동식 레일을 따라 4m 거리만큼 측정하는 측정 환경을 나타내며, 측정에 사용된 송,수신 안테나는 10dBi, 14dBi 및 24dBi 세가지 종류를 사용하였다. 측정결과 송수신 안테나가 10dBi인 경우에는 경로손실 지수가 2.0이며, 편차는 6.2로 나타났다. 14dBi 이득을 가진 송,수신 안테나를 사용한 경우 경로손실지수는 1.9이며, 편차는 5.9였으며, 송,수신 안테나를 24dBi 이득의 안테나인 경우에는 경로손실지수는 1.8이며, 편차는 5.7로 나타났다. 결과에서 보듯이 지면 반사파에 대한 영향은 이득이 낮은 안테나를 사용한 경우 크게 영향을 받았으며, 수신 안테나의 이득이 클수록 빔폭이 좁기 때문에 편차가 작게 나타남을 알 수 있었다.



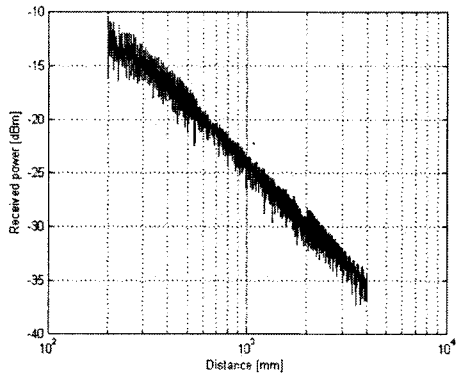
그림 3. 체육관 구조 및 측정 환경
Fig. 3 Gymnasium structure and measuring environment



(a) 10dBi



(b) 14 dBi



(c) 24 dBi

그림 4. 안테나 이득에 따른 측정 결과(체육관)
Fig. 4 Measured data to the various antenna gains (Gymnasium)

3.2.2 건물 옥상

그림 5와 6은 직접파와 지면 반사파만 존재할 경우의 수신 신호 변화 현상을 파악하기 위한 강의동 옥상에서의 측정 환경 및 측정 결과를 나타낸다. 그림에서 전체 측정 거리는 14m이며, 측정에 이용된 안테나는 10dBi, 14dBi 및 24dBi를 사용하였다. 측정결과 10dBi안테나의 경우 경로손실지수는 1.6, 편차는 6.5dB이며, 14dBi 안테나의 경우 1.7이며, 편차는 62dB로 나타났다. 또한 24dBi 안테나의 경우 경로손실지수는 1.6이며, 편차는 5.7로 나타났다. 결과에서 보듯이 약간의 차이가 있지만 경로손실 지수는 약 1.6이며, 편차는 6.2로서 체육관에서의 측정 결과에 비해 경로손실 지수는 작고 편차는 크게 되는 것으로 보아 나무재질의 바닥에 비해 방수 페인트가 칠해진 콘크리트 재질의 반사특성이 우수한 것으로 판단된다.

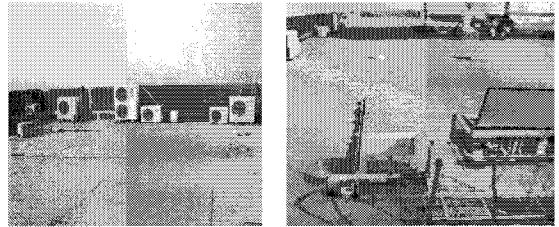
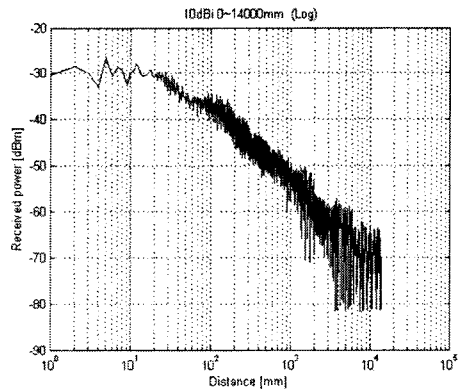
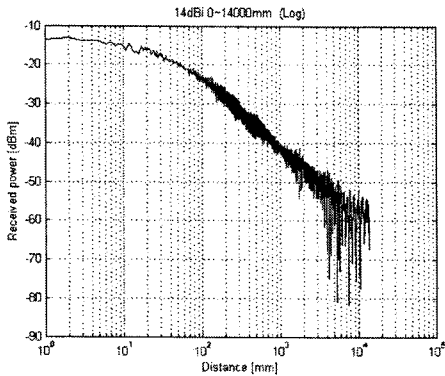


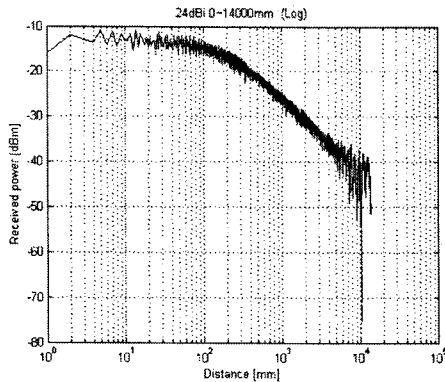
그림 5. 강의동 옥상 및 측정 환경
Fig. 5 The building rooftop and measuring environment



(a) 10dBi



(b) 14 dBi



(c) 24 dBi

그림 6. 안테나 이득에 따른 측정 결과(옥상)
Fig. 6 Measured data to the various antenna gains (rooftop)

3.2.3 복도

바닥면이 인조 대리석으로 이루어져 반사 특성이 우수한 복도에서의 수신 신호세기를 측정하였다. 특히 복도는 바닥면 뿐 아니라 천장, 양쪽 벽면에 의한 반사파도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

그림 7과 8은 측정 환경과 측정 결과를 나타낸다. 측정에 이용된 안테나는 24dBi 이득의 송신 안테나, 10dBi 이득의 수신 안테나를 사용하였으며, 최대 20m까지 측정하였다.

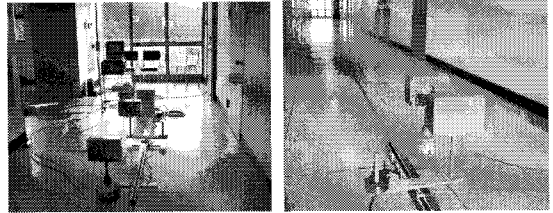


그림 7. 연구실 복도 환경
Fig. 7 The corridor of study rooms.

측정결과 체육관 및 옥상 지면 매질에 비해 반사가 잘 되는 특적인 바닥 재질에 의해 지면 반사파에 의한 2-ray 전파 특성이 잘 나타나는 것을 볼 수 있으며, 경로손실지수는 1.8이고 편차는 6.2로 나타났다.

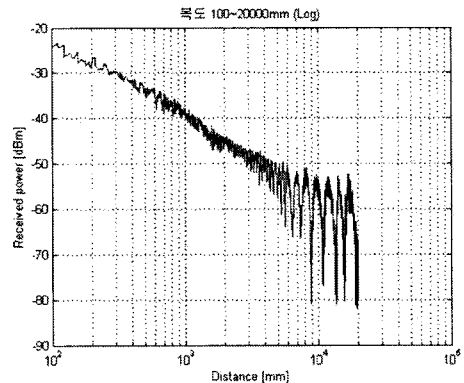


그림 8. 복도에서의 수신신호세기
Fig. 8 Received signal strength at the corridor

3.2.4 운동장

건물내에서의 측정 결과에 비해 상대적으로 이동거리가 긴 공간에서의 측정 결과를 검토하기 위하여 바닥이 흙으로 구성된 운동장에서 측정을 수행하였다. 송신 안테나 24dBi 이득, 수신안테나는 10dBi 이득을 가진 안테나를 사용하였으며, 50m까지 측정하였다. 그림 9는 운동장에서의 측정 현장을 보여주고, 그림 10은 측정 결과를 보여준다. 측정결과 경로손실지수는 자유공간에서의 경로손실 지수와 같은 2.0이며, 편차는 6.0으로서 지면 반사파의 크기가 작아 수신 신호세기에 미치는 영향이 약한 것을 볼 수 있다.

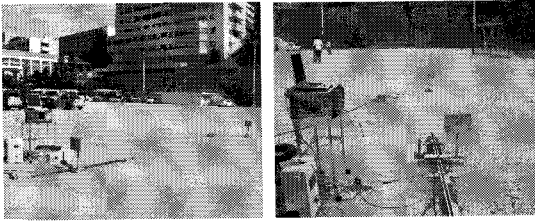


그림 9. 운동장 및 측정 환경

Fig. 9 The playground and measuring environment

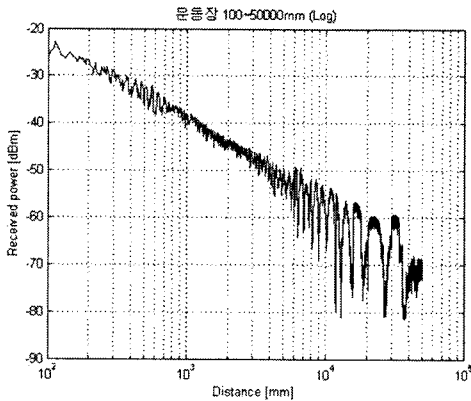


그림 10. 운동장에서 수신전력

Fig. 10 Received signal strength at the playground

표 1은 전파환경별 특성을 설명하고 있으며, 각 환경별 경로손실지수를 나타내고 있다.

표 1. 경로손실 지수 및 표준편차 측정 결과

Table. 1 measured path loss exponents and standard deviations

구분환경	설명	경로손실 지수(n)	표준 편차
체육관-10dBi	대학에서 체육시설로 이용되고 바닥이 나무 재질	2.0	6.2
체육관-14dBi		1.9	5.9
체육관-24dBi		1.9	5.7
옥상-10dBi	강의동 옥상으로 바닥은 콘크리트 재질에 방수 페인트 칠	1.6	6.5
옥상-14dBi		1.7	6.2
옥상-24dBi		1.6	5.7
운동장	대학 내 바닥이 흙인 운동장	2.0	6.0
복도	바닥이 인조대리석이며 양쪽이 연구실로 구성	1.8	6.2

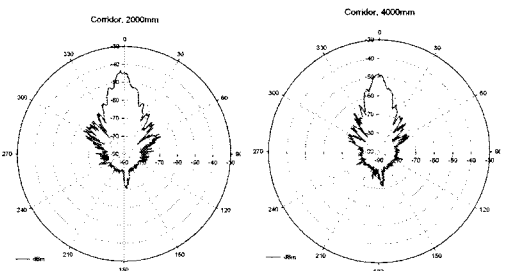
IV. 도래각(AOA : Angle of Arrival) 에 따른 전파 특성

측정 환경에 따라 도달하는 다중경로파의 도래각을 측정하기 위하여 송수신기간의 거리는 0.2m, 1m, 2m, 4m 등으로 고정시켜 놓고 수신기는 0.9도씩 회전하면서 다중경로파를 측정한다. 측정은 강의실, 복도, 옥상, 운동장, 복도T형 등 5곳에서 수행한다.

4.1. 복도

4.1.1 I형 구조-10dBi Horn antenna

그림 11은 연구실 복도에서 다중경로파의 도래각에 따른 수신 신호 형태로서 송수신 안테나의 이격거리가 2, 4m 지점에서의 수신 신호 세기를 나타낸 것이다. 그림에서 직접파 및 지면반사파가 도달하는 방향에서 가장 양호한 신호 세기가 나타나며, 거리가 가까울수록 벽면 반사파의 영향 때문에 벽면 반사에 의한 각도별 신호 세기가 크게 나타난다. 또한 좁은 폭의 복도에서는 반사각이 좁아지게 되어 수신 도래각이 좁게 나타난다.



(a) 2m

(b) 4m

그림 11. 도래각에 따른 수신 신호 패턴

Fig. 11 Received signal pattern to the arrival angles(I type corridor)

4.1.2 I형 구조 -16dBi Cassegrain Ant

그림 12는 빔 폭이 매우 좁은 Cassegrain 안테나에 의한 도래각 분포를 나타낸다. 송수신기간 이격거리가 1m와 2m지점에서 측정한 결과로서 송수신기의 방향이 일치할 때 가장 양호한 신호를 보이는 것을 볼 수 있다. 또한 거리에 가까울수록 벽면 반사파의 영향으로 매우 많은 다중경로파가 상대적으로 크게 수신되는 것을 볼 수 있으며, 그림 10의 혼 안테나에 비해 좁은 빔폭으로 인해

다중경로파의 도래각을 보다 정확하게 확인할 수 있다.

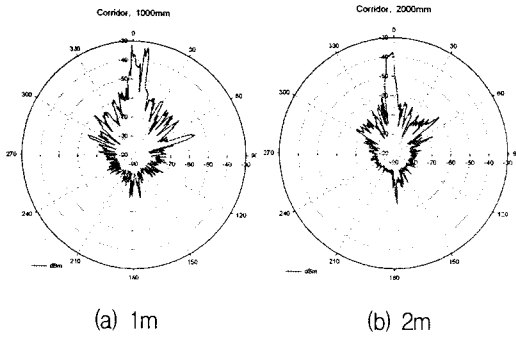


그림 12. 도래각에 따른 수신 신호 패턴
Fig. 12 Received signal pattern to the arrival angles(I type corridor)

4.1.3 T형 구조 -16dBi Cassegrain Ant

그림 13은 T형 구조를 가진 복도에서 도래각에 따른 수신 신호 세기로서, 송신 안테나로부터의 이격 거리가 2,3m 지점에서의 수신 신호 세기를 나타낸 것이다. 송신 안테나는 꺾어진 지점에 위치하여 수신 안테나와 직접 파가 존재할 수 없다. 그림에서 거리에 가까울수록 반사에 의한 각도별 신호는 크게 나타나며, 송수신 안테나 사이에 가시거리가 확보되지 않아 대부분의 각도에서 수신되는 신호가 없으나, 2m지점의 210도, 310도 지점에서 복도 벽면으로부터의 반사파가 도래하는 것을 볼 수 있다. 그림 13(b)에서는 340도, 200도 지점에서 반사 신호가 들어오는 것으로 볼 수 있다.

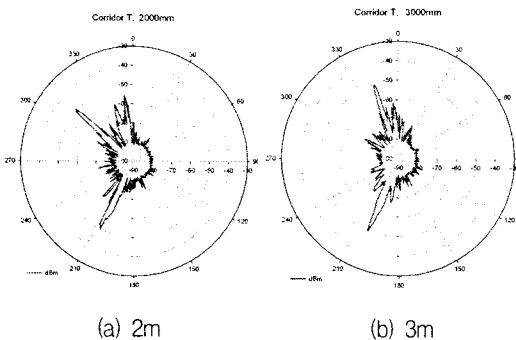


그림 13. 도래각에 따른 수신 신호 패턴
Fig. 13 Received signal pattern to the arrival angles(T type corridor)

4.2. 옥상

그림 14의 신호는 천장이 없고 주변 반사체가 적은 옥상에서 도래각에 따른 수신 신호 세기로서 송신 안테나로부터 0.2, 2m 떨어진 지점에서의 수신 신호 세기를 나타낸 것이다. 지면 반사특성이 좋고 측정 지역이 비교적 넓은 옥상환경에서는 도래각의 분포가 넓어 반사특성이 좋지 않을 뿐 아니라 반사체와 수신기사이의 거리도 멀어 직접파와 지면 반사파 외에는 큰 신호가 없어 신호 패턴이 좁게 나타나는 것을 볼 수 있었다. I형 복도 구조인 그림 10(a)와 그림 14(b)를 비교하면 직접파와 지면 반사파에 의한 크기는 서로 유사하나 주변 반사체로부터의 반사파 크기가 작은 것을 볼 수 있다.

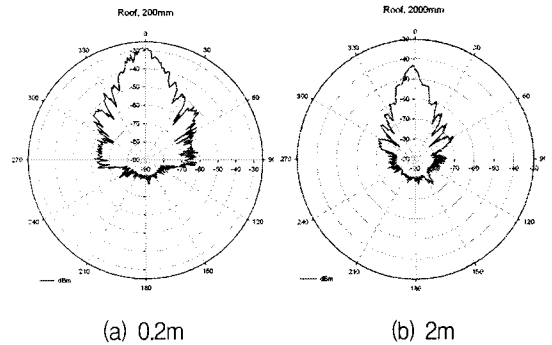


그림 14. 도래각에 따른 수신 신호 패턴
Fig. 14 Received signal pattern to the arrival angles (rooftop)

4.3. 운동장

그림 15는 바닥면이 흙으로 이루어진 운동장에서 도래각에 따른 수신 신호 세기에 대한 측정 결과를 나타낸다. 송수신 안테나의 이격 거리가 2,4m인 지점에서의 수신 신호 세기로서 거리가 두 배 증가함에 따라 신호세기는 약 3dB 차이를 보였다. 넓은 측정 환경으로 인해 도래각의 분포가 복도 구조에 비해 넓었으며, 주변 반사체에 의한 반사파는 매우 약하게 나타났다.

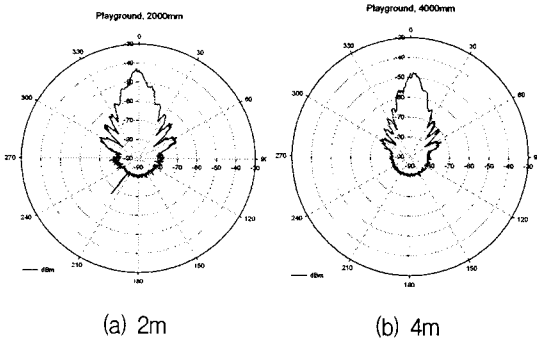


그림 15. 도래각에 따른 수신 신호 패턴
Fig. 15 Received signal pattern to the arrival angles (playground)

V. 결 론

1Gbps 이상의 초고속 광대역 서비스를 제공하기에 가장 적합한 주파수 대역인 밀리미터파대역의 전파특성을 파악하기 위하여 수신 신호 세기 및 도래각 분포를 측정하고 분석하였다. 특히, 60GHz대의 주파수에서 수신 신호에 큰 영향을 줄 수 있는 지면 반사파의 특성 변화를 파악할 수 있는 장소에서 측정하였다.

분석 결과, 전체 지점은 자유 공간에서의 경로손실 지수인 2보다 작게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이 중에서 콘크리트위에 방수처리를 위한 페인트가 칠해진 옥상에서의 경로손실 지수가 1.6으로서 가장 작게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 지면이 흙인 운동장에서의 경로손실 지수가 2로서 가장 크게 나타났다. 즉, 지면의 반사계수가 클수록 경로손실 지수가 작게 되는 것을 알 수 있다. 측정 데이터간 편차는 약 6dB로서 유사하게 나타났다.

도래각에 의한 신호 특성을 측정된 결과, 송수신기가 위치한 주변 환경에 따라 도래각 범위가 비례하는 것을 볼 수 있었다. 즉, 60GHz대의 주파수 특성상 주변 반사파에 의한 신호세기는 직접파의 크기에 비해 미약하여 도래각 분포에 있어서 특이한 패턴을 발견하기 바닥 반사파와의 다중경로 반사파가 존재하는 복도에서는 반사파의 도래각을 확인할 수 있었으나, 체육관, 운동장과 같은 넓은 지역에서는 바닥면외의 다중경로 반사파를 확인하기 어려웠다. 이것은 해당 주파수를 통신 시스템에 적용할 경우 반사, 회절 등에 의한 통신보다는 직접파에 의한 통신이 주가 된다는 것을 의미한다.

참고문헌

- [1] 김진태, "유비쿼터스 네트워킹을 위한 WPAN 표준 기술 동향," 정보통신 기술 제18권 제2호, 2004. 12, pp 2~16.
- [2] IEEE Std 802.15.3-2003: "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)".
- [3] Shahriar Emami, Abbie Mathew and Zhiguo Lai, "60 GHz Channel Modeling Simulation Work for Indoor Environment," IEEE802.15-05/0255r0, May 2005.
- [4] H. Xu, V. Kukshya, and T. S. Rappaport, "Spatial and temporal characteristics of 60-GHz indoor channels", IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 20, no. 3, pp. 620-630, Apr. 2002.
- [5] J. Hubner, S. Zeisberg, K Koora, J. Borowski, A. Finger, "Simple channel model for 60 GHz indoor wireless LAN design based on complex wideband measurements", Proc. VTC, 1997, pp. 1004-1008.
- [6] H. Masui, T. Kobayashi, M. Akaike, "Microwave path-loss modeling in Urban Line-of-sight Environments", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.20,pp. 1151-1155, August. 2002

저자소개

송 기 홍 (Ki-Hong Song)



1988년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

1998년 3월~현재: 동의과학대학 정보통신과 부교수
※ 관심분야 : 전파채널모델, 무선망설계, 이동통신 시스템 설계