
다양한 장애물에 대한 60GHz 대역에서의 투과 및 반사 특성 측정

송 기 홍*

Transmission and Reflection Characteristics Measurements at the 60GHz for
the Various Obstacles

Ki-Hong Song*

요 약

본 논문에서는 초고속 광대역 서비스를 제공하기에 적합한 주파수 대역인 60GHz 밀리미터파대역의 전파특성을 파악하기 위하여 직접파를 제외한 반사파 및 투과파에 대한 신호세기를 측정하여 평균 전력 및 표준 편차를 분석하였다. 먼저, 장애물 투과에 의한 수신 신호 세기를 분석한 결과, 철문, 동판 등은 약 40dB 이상의 투과 손실치를 나타내어 투과가 거의 발생하지 않았으며, 고무, 스티로폼 및 유리등이 약 3dB의 투과 손실치로 가장 적게 나타났다. 입사각이 60도 인 경우 장애물에 의한 반사파 수신신호세기는 파티션에서의 손실치가 약 22dB로서 크게 나타났으며, 벽면 반사 손실치가 약 6dB로 가장 적게 나타났다. 이상의 결과는 반사파와 투과파가 서비스 영역 결정에 영향을 미치는 WPAN과 같은 피코셀 이동통신망의 설계에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This paper presents the reflection and transmission measurements conducted at the 60GHz suitable to provide a high speed wide band service. Mean received power and standard deviation are calculated and used to compare the characteristics of radio wave propagation to the various obstacles between transmitting and receiving antennas at the frequency. The results show that the transmitted signal strength by the steel door and copper plate are about 40dB lower than in free space, those by the rubber plate, glass and styroform are about 3dB lower than in free space. Also, the reflected signal strengths at the 60 degree grazing angle show that in case by the partition is about 23dB lower, by the surface of a wall is about 6dB lower than by the copper plate. The presented results can be used for the design of 60 GHz picocell communication network that the reflected and transmitted waves affect to the service area.

키워드

밀리미터 파대, 반사, 투과, 피코셀, 수신 신호세기

I. 서 론

피코셀 무선통신용으로 이용이 확대되고 있는 밀리미터 대역의 응용 분야는 국내외적으로 기술 개발이 완

성되지 않은 미개척 분야로써 기술 선점을 위하여 많은 투자를 통해 연구를 진행하고 있다. 정부는 국내 밀리미터파대 무선통신 시장이 활성화될 수 있도록 주파수 이용 용도를 정하지 않고 일정 기술 기준에만 맞으면 어떤

용도로든지 사용할 수 있는 ‘용도미지정대역(FACS)’으로 주파수를 분배하였다. 57~64GHz 대역의 밀리미터파는 파장이 짧아 안테나와 기기의 소형화, 경량화가 가능하고, 넓은 대역폭과 높은 주파수 재사용율로 다양한 시장에서 활용할 수 있다. 특히 차세대 점 대 점 고정 통신과 무선 PAN 등 근거리 통신에 적합한 주파수라 할 수 있으며, IEEE 802.15.3c에서는 60GHz대를 이용한 WPAN의 표준화를 진행하고 있다[1,2].

본 논문에서는 60GHz대 무선통신에 주로 영향을 미치는 직접파, 반사파 및 투과파 중에서 반사파와 투과파의 신호 세기를 측정하여 분석한다. 반사 및 투과파는 직접파를 제외한 상태에서의 전파전파 현상에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서 60GHz대 무선통신의 서비스 영역을 파악하는 데 있어서 매우 중요하다. 측정에 사용된 장애물은 건물내 주요 구조물인 벽면, 철문 등을 이용하였다.

II. 60GHz 전계강도 측정 시스템 구성

그림 1은 측정을 위해 구성된 측정시스템의 구성도로서 크게 송신부와 수신부로 구성된다[2]. 송신부는 60GHz대 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 분석기로 구성되어 있으며, 이를 제어하기 위해 GPIB 인터페이스와 노트북으로 구성되어 있다. 특히, 수신부는 60GHz의 전파신호를 1GHz IF주파수의 신호로 변환한 후 spectrum analyzer를 이용하여 신호레벨을 수신하였으며, GPIB를 이용하여 실시간의 신호레벨을 저장한다. 측정에 사용된 송수신 안테나는 경로손실 특성이 매우 큰 60GHz대역의 전파 신호에 대한 수신 신호 세기를 보상하기 위하여 10dBi이득을 가지는 Horn 안테나를 사용하였으며, 그림2와 같은 수직 및 수평 복사 패턴을 가지고 있다.

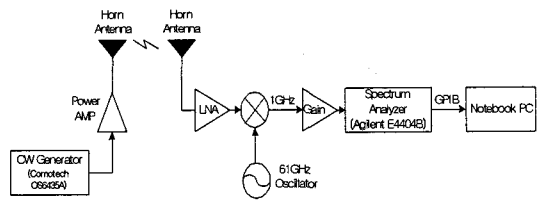


그림 1. 60GHz 전계강도 측정 시스템
Fig. 1 60GHz signal strength measurement system

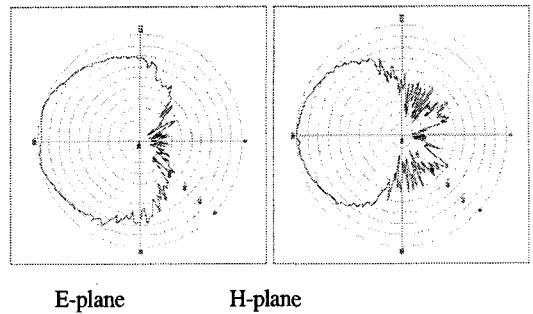


그림 2. 혼 안테나의 복사 전력 패턴
Fig. 2. The radiated power pattern of the horn antenna.

그림 3은 송수신 안테나 사이의 중간 지점에 장애물을 위치시킨 후 장애물에 의한 반사 및 투과 신호 특성을 측정하기 위한 측정 구성도를 나타낸다. 투과측정은 송수신기 간의 거리가 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0m만큼 이격되어 있는 지점에서 100개의 측정 데이터를 수집하는 방법으로 수행하며, 반사 측정은 장애물사이의 입사각이 30도, 60도 및 90도인 경우에 대하여 반사 신호 특성을 측정한다. 장애물의 종류는 고무, 벽면, 유리, 종이박스, 철판, 파티션 및 화이트보드 등 7가지로 구성된다.

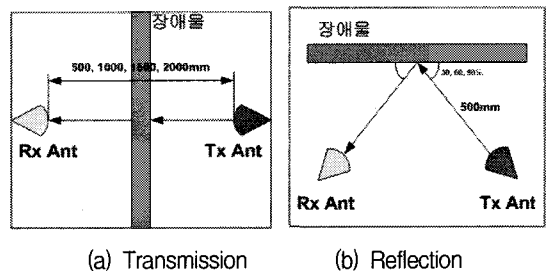


그림 3. 장애물로 부터의 투과 및 반사 신호 측정
Fig. 3 Transmitted and Reflected power measurements from the obstacles

III. 장애물별 투과 신호 세기 측정

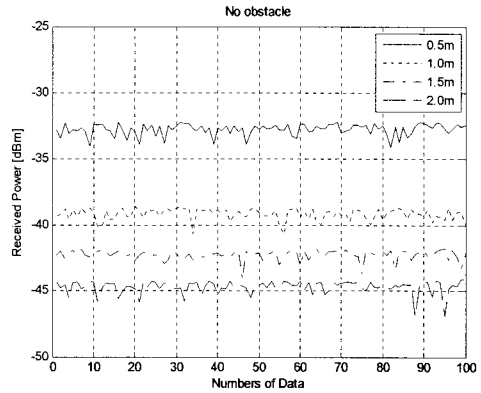
그림 4는 장애물·투과에 의한 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림 4(a)는 장애물이 없을 때 측정된 수신된 신호 세기로서 각 지점에서 측정된 측정 데이터는 수신신호 세기를 분석한 결과, 송·수신기간 이격거리가 두 배로 멀어짐에 따라 약 6dB만큼 신호세기가 감쇠하며, 신호의 변화폭은 장애물이 있을 경우에 비해 작게 나타났다.

송수신기 사이에 그림 4(b)와 같이 고무판이 위치할 경우 투과 손실치는 고무판이 없을 때와 비교하여 대략 4dB 발생하였으며, 신호의 표준 편차는 이격거리가 멀어질수록 작아졌다. 송·수신기간 이격 거리가 두 배로 멀어짐에 따라 약 3dB만큼 손실이 발생하였으며, 이격 거리가 멀어질수록 장애물이 없을 때의 신호세기와 차이가 줄어들었다.

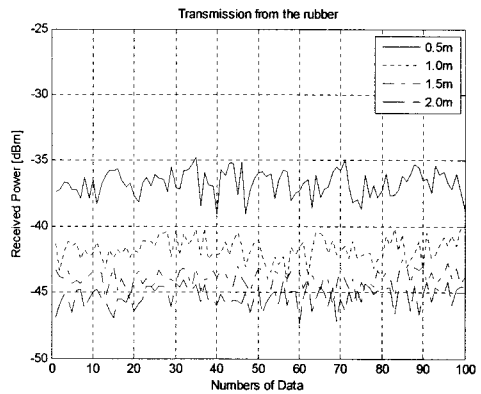
그림 4(c)와 같이 송수신기 사이에 나무판이 있을 경우 수신신호 세기는 나무판이 없을 때와 비교하여 약 8dB 적게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 신호간 편차는 0.90으로 유사하게 나타난다. 또한 이격 거리가 두 배로 멀어짐에 따라 신호세기는 약 6dB정도 감쇠하고 있다.

그림 4(d)와 같이 동판에 따른 수신신호세기는 약 -80dBm이며, 장애물이 없을 때와 비교하여 대략 48dB가 감쇠되는 것으로 보아 투과되지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 이격 거리간 신호세기의 차가 발생하지 않는 것으로 보아 거의 모든 신호 성분이 반사하나 거리가 멀어질수록 수신 안테나 주위의 반사체로부터의 반사파가 수신기에 도달하여 가까운 거리에서의 신호세기에 비해 크게 나타났다.

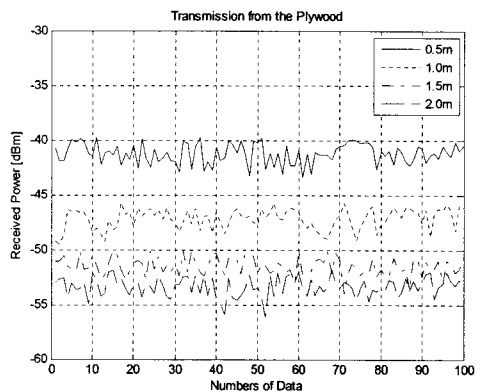
그림 4(e)는 벽면에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 벽면에 따른 수신신호 세기는 없을 경우와 비교하여 대략 47dB가 감쇠되는 것으로 투과되지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 이격 거리간 신호 세기의 차가 발생하지 않는 것으로 보아 거의 모든 신호 성분이 반사하고 투과파는 거의 없다는 것을 나타낸다.



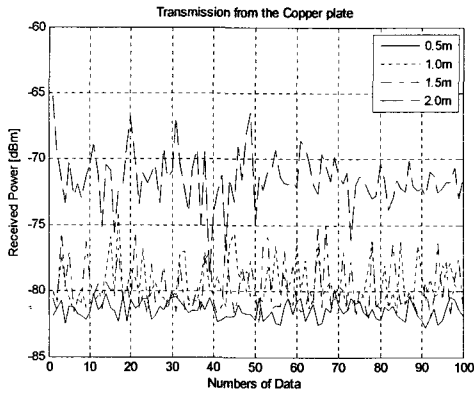
(a) no obstacles



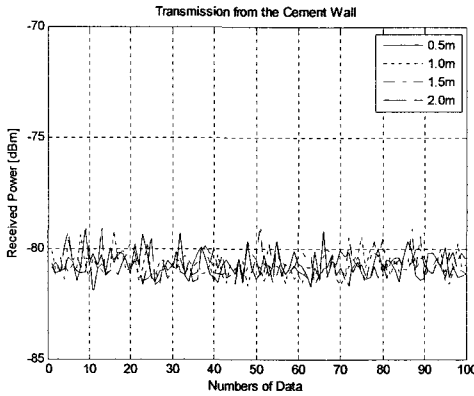
(b) rubber plate



(c) Plywood



(d) Copper plate



(e) Cement wall

그림 4. 장애물 투과에 의한 수신전력
Fig 4. Received power by the transmission of the obstacles

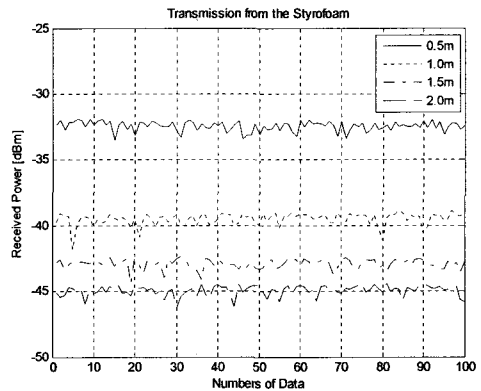
그림 5는 송수신기 사이에 스티로폼, 유리, 골판지 및 칸막이가 있을 때 투과에 의한 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 5cm 두께의 스티로폼에 따른 수신신호 세기는 없을 경우에 비해 전체적으로 약 2dB가 감쇠하여 비교적 양호한 투과 특성을 갖는 것을 볼 수 있다. 또한 이격 거리가 두 배로 멀어짐에 따라 약 7dB의 신호 감쇠가 발생한다.

그림 5(b)는 0.5cm 두께의 유리를 투과한 경우에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 수신신호 세기는 유리가 없을 때와 비교하여 투과 손실이 약 3dB가 발생하였으며, 비교적 양호한 투과 특성을 갖는다. 또한 송·수신기 간 이격 거리가 두 배 멀어짐에 따라 신호세기는 약 5dB가

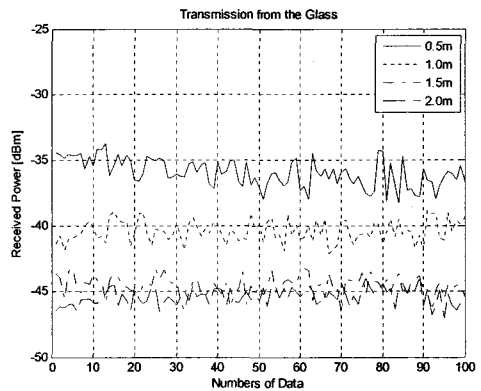
줄어든다.

그림 5(c)는 0.5cm 두께의 골판지에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 골판지 투과에 따른 수신신호 세기는 없을 때와 비교하여 약 4dB의 감쇠하였으며, 비교적 양호한 투과 특성으로 표준편차는 평균 1.8로서 비교적 큰 값을 가진다. 또한 송·수신기 간 이격 거리가 두 배 멀어짐에 따라 신호세기는 약 4.5dB가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

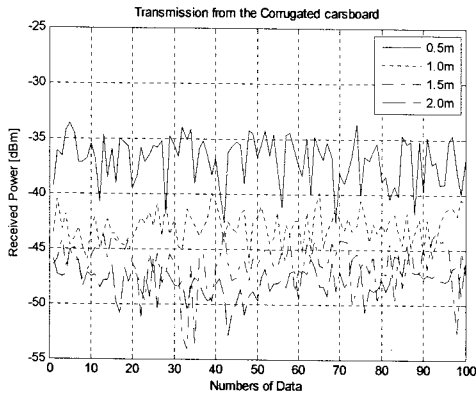
그림 5(d)는 약 5cm 두께의 사무실 파티션에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 파티션에 따른 수신신호 세기는 대략 7.2dB가 감쇠되는 것으로 나타난다. 또한 송·수신기 간 이격 거리가 두 배 멀어짐에 따라 신호세기는 약 4.5dB가 줄어드는 것을 볼 수 있다.



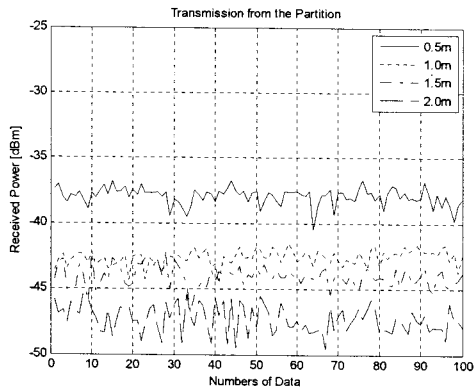
(a) Styrofoam



(b) Glass



(c) Corrugated cardboard



(d) Partition

그림 5. 장애물 투과에 의한 수신전력

Fig 5. Received power by the transmission of the obstacles

표 1은 송수신간 거리를 0.5, 1.0, 1.5, 2m로 일정한 상태에서 장애물 투과에 따른 수신신호 세기의 평균값과 표준 편차를 나타낸다. 또한 송수신기 사이에 장애물이 없을 때와 장애물 종류를 변경시켰을 때의 수신 신호 세기 차에 의한 투과 손실을 보여준다. 표에서 스티로폼의 투과손실이 0.2dB로서 가장 적었으며, 동판의 투과손실이 48.7dB로서 가장 큰 값을 가진다.

표 1. 장애물 투과에 따른 수신 신호세기 차
Table. 1 The signal strength differences between the transmitted waves from the obstacles

구분(두께)	송수신간 거리별 신호세기(dBm)				투과손실 (dB)
	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	
장애물 없을 때	평균 -32.7	-39.2	-42.3	-44.7	
	편차 0.44	0.43	0.40	0.49	
고무 (0.5cm)	평균 -36.7	-41.7	-43.9	-45.4	4.0
	편차 0.98	0.88	0.65	0.78	
나무판 (1.0cm)	평균 -41.2	-47.2	-51.5	-53.4	8.5
	편차 0.92	0.93	0.81	0.88	
동판 (0.2cm)	평균 -81.4	-79.5	-79.7	-71.5	48.7
	편차 0.67	1.62	1.96	2.06	
벽면 (18cm)	평균 -80.7	-80.8	-80.7	-80.8	48.0
	편차 0.58	0.50	0.55	0.55	
스티로폼 (5cm)	평균 -32.5	-39.5	-42.9	-44.9	0.2
	편차 0.38	0.47	0.38	0.39	
유리 (0.5cm)	평균 -35.9	-40.4	-44.6	-45.4	3.2
	편차 1.07	0.81	0.74	0.67	
골판지 (0.5cm)	평균 -36.9	-42.9	-46.4	-47.9	4.2
	편차 2.13	1.42	2.11	1.46	
철문 (6cm)	평균 -80.2	-80.0			47.5
	편차 0.82	0.77			
파티션 (5cm)	평균 -39.9	-42.6	-44.0	-47.3	7.2
	편차 0.65	0.60	0.78	1.05	

IV. 장애물별 반사 신호 세기 측정

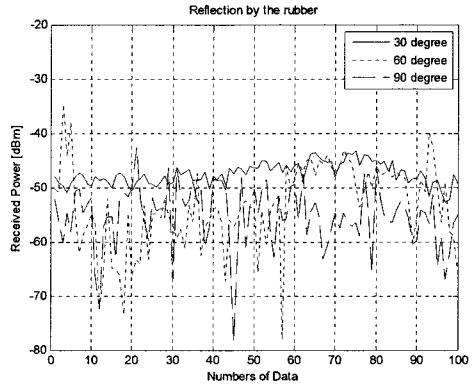
그림 6은 장애물 반사에 따른 수신 신호세기를 나타낸다. 그림 6(a)는 장애물이 없는 상태에서 입사각과 반사각이 30도, 60도, 90도가 되도록 송수신 안테나를 설치하였을 때의 수신신호 세기를 나타낸 것이다. 장애물과의 각이 30도인 경우 송신기 안테나의 부로브 신호가 수신기에 수신되는 것을 볼 수 있으며, 90도의 경우에는 옥상의 구조형태로 인해 전면의 벽면을 통해 반사되어 들어오는 신호가 들어오는 것을 예측할 수 있다.

그림 6(b)는 철판에서의 반사에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림에서 송신각과 수신각이 일치할 때가 가장 양호한 수신 신호세기를 보이는 것을 볼 수 있다. 반사와 만으로의 수신 신호세기는 직접파의 영향이 없기 때문에 페이딩 현상이 적게 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 송신각이 작을수록 수신신호세기가 크게 나타난다.

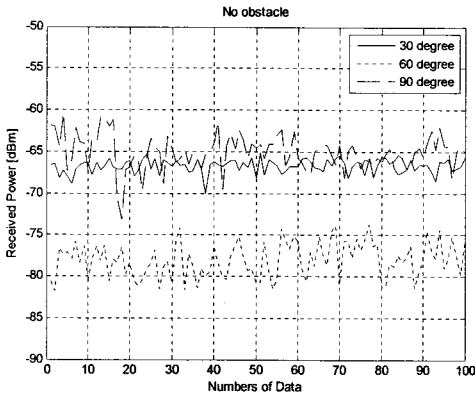
그림 6(c)는 고무판에서의 반사에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림에서 반사와 만으로의 수신 신호세기는 직접파의 영향이 없기 때문에 페이딩 현상이 적게

일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 송신각이 작을수록 수신 신호세기가 크게 나타난다. 이것은 수평편파 특성을 가진 혼 안테나를 이용할 경우 입사각이 커질수록 반사계수가 작아지는 특성 때문이다.

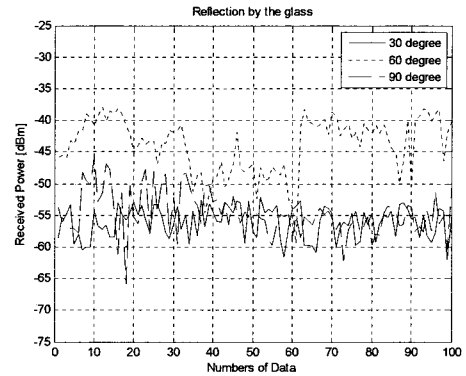
그림 6(d)는 유리로부터의 반사파에 의한 수신 신호세기를 나타낸다. 그림에서 송신각과 수신각이 일치할 때 가장 양호한 수신 신호세기를 보이는 것을 볼 수 있다. 하지만 60도의 경우는 강한 바람으로 인해 측정환경의 변화로 인해 직접파가 수신된 것으로 파악된다. 또한 30도의 경우도 강한 바람으로 인해 송신기의 입사각이 변화되어, 직접파로 인해 페이딩 현상이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.



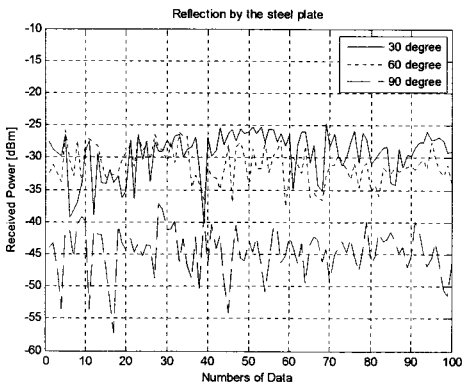
(c) Rubber plate



(a) no obstacles



(d) Glass



(b) Steel plate

그림 6. 장애물 반사에 의한 수신전력
Fig 6. Received power by the reflection of the obstacles

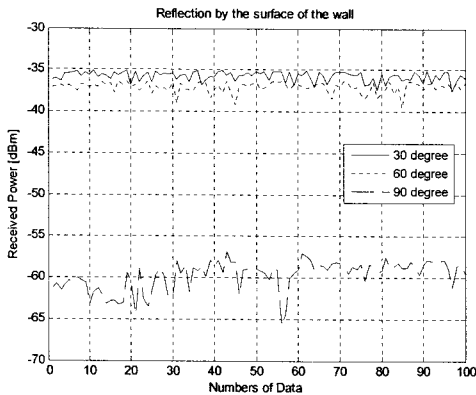
그림 7은 장애물이 벽면, 골판지, 파티션 및 화이트보드인 경우에 대하여 각 장애물 경계면 반사에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림 7(a)는 장애물이 벽면인 경우 반사파에 대한 수신 신호세기로서 철판에 대한 반사 신호세기와 비교하면 입사각이 60도일 때 5.88dB의 반사 손실치로서 반사 특성이 뛰어나다.

그림 7(b)는 골판지의 반사에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 측정 결과, 골판지 면과 내부의 재질이 균일하지 못해 일정한 입사각에 따른 반사파가 아니라 반사파와 산란파가 혼합된 형태의 불규칙적인 파에 의한 신호 세기에 의한 것으로 예측된다. 측정 신호의 변화폭이 상대적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 철판에 대한

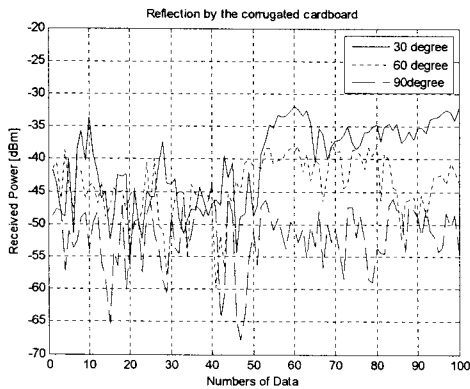
수신 신호 세기의 차가 60도일 때 12.8dB로 나타난다.

그림 7(c)는 파티션에서의 반사에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 그림에서 반사계수가 가장 큰 각인 30도 입사각에서 신호 레벨이 가장 크게 나타났으며, 60도에서는 철판과의 신호세기 차이가 23.66dB로서 큰 차이를 가진다. 이것은 경계면이 고른 철판에 비해 불규칙적인 면으로 인해 신호 변화 현상이 심하게 나타난다.

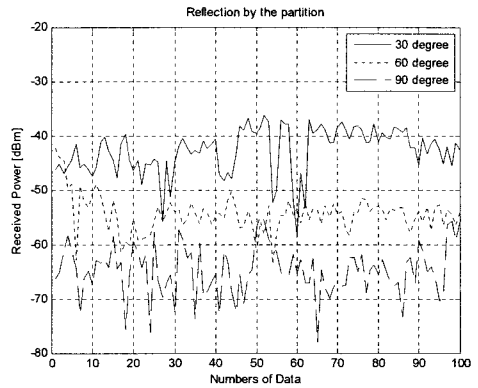
그림 7(d)는 화이트보드에서의 반사에 따른 수신 신호 세기를 나타낸다. 화이트보드의 반사특성은 유사한 반사계수를 갖는 파티션과 유사한 신호세기를 갖는다. 철판에 의한 반사파 신호세기와와의 차이는 20.06dB이며, 표준편차는 약 5dB로서 신호변화 현상이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.



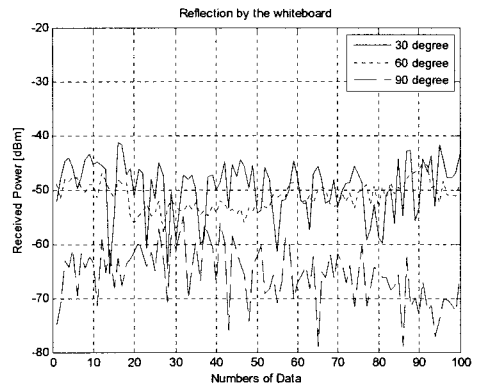
(a) Cement wall



(b) Corrugated cardboard



(c) Partition



(d) White board

그림 7. 장애물 반사에 의한 수신전력
Fig 7. Received power by the reflection of the obstacles

표 2는 장애물과 송수신기 사이의 거리는 0.5m로 일정한 상태에서 입사각을 30, 60, 90도로 변경시켰을 때 반사파의 수신 신호 세기에 대한 평균치와 표준편차를 나타낸다. 표에서 각 반사 손실치는 안테나 패턴에 의한 부로브 뿐만 아니라 주변 반사파의 영향을 가장 적게 받는다고 판단되는 60도 입사각을 기준으로 철판의 반사파 신호세기와 비교하여 도출한다. 비교 결과, 벽면의 반사손실이 5.88dB로서 가장 적었으며, 파티션의 반사손실이 23.26dB로서 가장 크게 나타났다.

표 2. 장애물 입사각에 따른 수신 신호세기 차
Table. 2. The reflected power differences to the grazing angles of obstacles

구분		각도별 수신 신호세기(dBm)			반사손실
		30도	60도	90도	
장애물 없을 때	평균	-66.72	-77.96	-65.09	46.78
	편차	0.85	2.13	2.15	
철판	평균	-29.39	-31.20	-44.60	
	편차	3.48	2.71	3.65	
고무	평균	-47.44	-53.59	-55.14	22.39
	편차	2.04	7.73	5.71	
벽면	평균	-35.76	-37.08	-59.76	5.88
	편차	0.57	0.64	1.80	
유리	평균	-56.01	-43.92	-54.67	12.72
	편차	2.48	4.38	3.58	
골판지	평균	-40.30	-44.02	-52.16	12.82
	편차	6.21	4.47	4.84	
파티션	평균	-42.79	-54.46	-64.76	23.26
	편차	4.27	3.35	4.66	
화이트 보드	평균	-49.60	-51.26	-65.59	20.06
	편차	5.23	2.51	5.12	

V. 결 론

초고속 광대역 서비스를 제공하기에 가장 적합한 주파수 대역인 60GHz 밀리미터파대역의 전파특성을 파악하기 위하여 직접파를 제외한 반사파 및 투과파에 대한 신호세기를 측정하고 분석하였다.

먼저, 장애물 투과에 의한 신호 손실치를 파악하기 위하여 다양한 재질의 장애물을 송수신기 가운데 지점에 설치하였을 때 수신 신호세기와 신호세기차를 분석한 결과, 철문, 동판 등은 약 40dB이상의 투과 손실치를 나타내어 투과가 거의 발생하지 않았으며, 고무, 스티로폼 및 유리등이 약 3dB의 투과 손실치로 가장 작게 나타났다.

장애물에 의한 반사파 수신신호세기를 측정한 결과를 보면, 입사각이 60도인 경우 철판과 파티션의 반사 손실치 차이가 23.26dB로서 가장 컸으며, 벽면이 5.88dB로 가장 적게 나타났다. 전체적으로 반사판의 면이 고를수록 반사가 잘 일어났으며, 장애물과 송수신기사이의 각이 클수록 수신 신호세기가 약해지는 것을 볼 수 있다. 이것은 편파 특성에 의한 결과로서 입사각이 클수록 반사계수가 작아지므로 이에 따른 반사파의 세기가 약해

지는 것을 의미한다[3].

60GHz대의 주파수 특성상 통신 시스템에 적용할 경우 직접파에 의한 통신이 주가 되나 WPAN과 같은 좁은 영역에서의 이동통신에서는 반사파 및 투과파가 서비스 영역 결정에 많은 영향을 미치게 된다[4]. 따라서 제시된 결과는 60GHz대 통신 시스템의 정확한 셀 설계에 효과적으로 이용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김진태, “유비쿼터스 네트워킹을 위한 WPAN 표준 기술 동향,” 정보통신 기술 제18권 제2호, 2004. 12, pp 2-16.
- [2] J. Andersen, T. Rappaport, and S. Yoshida, “Propagation measurements and models for wireless communications channels,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 33, pp. 42 - 49, Jan. 1995.
- [3] H. Yang, M. H. A. J. Herben, and P. F. M. Smulders, “Impact of Antenna Pattern and Reflective Environment on 60 GHz Indoor Radio Channel Characteristics,” *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 4, pp. 300 - 303, 2005.
- [4] M. Fiacco, M. Parks, H. Radi and S. R. Saunders, “Indoor propagation Factors at 17 and 60GHz,” final report, University of Surrey, Aug. 1998.

저자소개

송기홍(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