

I. 서 론

최근의 다양한 무선 서비스로 인하여 기존의 무선 주파수 자원은 점점 고갈되어 새로운 주파수 자원을 필요로 하게 되었다. 이에 대한 해결책으로 그 동안 천체, 위성, 군사용으로만 주로 사용되어져 왔던 밀리미터파 대역의 주파수가 최근 전파 수요의 급증과 소자 기술의 발달 등으로 인하여 회로의 소형, 경량화가 가능하여 근거리 초고속, 광대역 통신을 비롯한 쌍방향 비디오 서비스, 차량 충돌 경고용 레이더를 비롯한 ITS(Intelligent Transport System) 핵심 기술로 국내외에서 광범위하게 연구가 수행되고있다^{[1]~[3]}. 이제까지 제한적으로 사용되어왔던 새로운 주파수 대역인 밀리미터파 대역의 전파 자원 이용을 위한 기술이 개발되면서 현재 LMDS(Local Multipoint Distribution Service)에 이용되는 준밀리미터파인 28 GHz 또는 40 GHz 대역, PCN(Personal Communication Network)에 이용되는 38 GHz, 그리고 산소에 의한 흡수 감쇄가 매우 커서 인접 cell과의 간섭을 줄일 수 있으며 주파수 재사용 측면에서 매우 효율적인 실내 통신용의 60 GHz 대역 고속 무선 LAN 시스템 개발을 위한 상업적 이용 연구가 최근 유럽을 비롯하여 일본, 호주, 캐나다 등지에서 활발히 이루어지고 있으며 시스템에 적용 가능한 최적 변조 방식에 대한 연구도 함께 진행되고 있다^{[4],[5]}. 특히 자유공간에서의 큰 손실에도 불구하고 밀리미터파를 이용하는 중요한 이유는 다음과 같다.

- 1) 대기의 산소와 수증기, 강우에 의한 전력의 흡수 감쇄로 인한 주파수 재사용의 가능

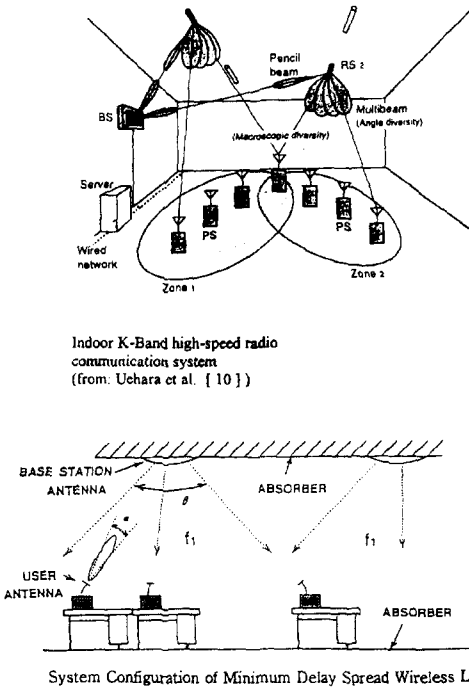
- 2) 고이득 안테나를 소형으로 가능하며 회로의 크기가 적음으로 소형 송수신기의 제작 가능
- 3) 광대역 스펙트럼의 이용으로 전파 채널수의 확대 가능

밀리미터파는 위와 같은 특성 때문에 장거리 통신보다 근거리, 초광대역 통신에 주로 이용이되며 ITS의 차량간 통신, 차량-도로 통신, 실내 WLAN (Wireless Local-Area Network), LMDS 등에 이용되는 연구가 주를 이루고 있으며 본 기고에서는 60 GHz 대역에서의 실내 통신 시스템 개발에 대하여 기술하고자 한다. 먼저 밀리미터파 실내 LAN 개발에 핵심 기술이 되는 실내 전파 및 채널 특성에 대하여 고찰하고 송수신기의 구조 및 변조 방식 그리고 안테나 diversity에 따른 전송 특성에 대하여 분석 하였다. 이러한 채널 측정과, 측정 자료의 분석을 통하여 최적 실내 통신 시스템의 시뮬레이션을 하였고 이를 기본 자료로 하여 최적의 실내 통신 시스템을 설계, 제작할 수가 있다.

저주파수의 경우와 달리 밀리미터파 실내 통신 시스템의 개발에는 다양한 실내 구조에 따른 multipath 현상에 의하여 변복조방식, coding, equalizing, 안테나 diversity 등 많은 변수들을 최적화 하여야 하나 실제로 모든 경우를 시험할 수가 없어 시스템의 설계에 한계가 있게 된다. 이러한 한계를 극복할 뿐만 아니라 광대역 LAN 구성에 이용되는 회로의 부품에서부터 안테나의 diversity 영향, 그리고 변복조기의 성능 분석, 검증 등을 하기 위하여 시스템의 설계 도구로써 밀리미터파 Test Bed를 개발하였으며 이에 대한 내용을 역시 서술하고자 한다.

II. 밀리미터파 LAN 시스템

60 GHz의 단거리 실내통신은 서론에서 언급한 것처럼 밀리미터파의 특성에 의하여 광대역의 신호를 전송할 수 있다는 장점때문에 초고속 멀티미디어 전송용 실내통신 LAN으로 개발이 이루어지고 있다. 밀리미터파 실내 LAN 시스템은 [그림1]에 도시한 것처럼 실내 공간의 천장에 Base Station이 위치하여 있고 여러 개의 사용자 단말기가 cell 단위를 형성하면서 위치하고 있다. 2.8 GHz 실내 무선 LAN과 같은 저주파수 마이크로파 대역과 달리 60 GHz 무선 LAN 시스템은 실내 채널의 환경에 매우 복잡한 관계를 가지고 있으므로 시스템 설계에 앞서 실내 채널 특성, 다중경로 특성, 안테나 형태 그리고 이러한 채널 환경에 가장 적



[그림 1] 밀리미터파 실내 무선 통신 시스템 구성도

합한 통신 방식의 알고리즘을 개발하여야 하므로 이러한 내용을 살펴보기로한다.

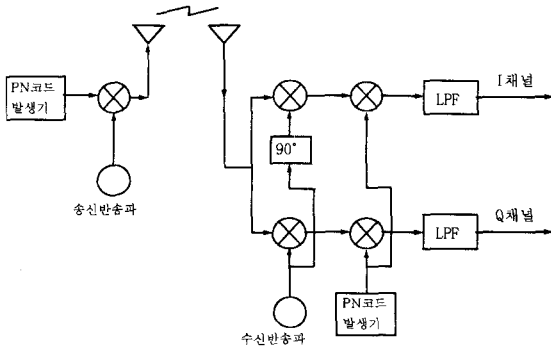
2-1 실내에서의 밀리미터파 채널 특성

실내 채널에서 전파의 경로손실 특성 및 시간 지연 특성을 모두 알아낼 수 있는 광대역 측정방법으로는 PN코드 상관방법(PN Code Correlation)과 임펄스(Impulse) 방법, Frequency Stepping 방법 등이 있다. <표 1>에 각 측정 방법에 대한 특성을 비교하였다.

<표 1> 측정방법 비교

측정방식	측정데이터	장점	단점
CW 방법	Path Loss	측정시스템 간단	Path Loss만 측정 가능
임펄스 방법	Path Loss Delay Spread	측정시스템 간단	SNR을 크게 하려면 송신전력이 커야함
PN 코드 상관	Path Loss Delay Spread BER	BER 측정가능	변복조기등 측정 장치 복잡 송수신 동기필요
Frequency Stepping	Path Loss Delay Spread	주파수 및 시간 영역특성을 알 수 있다. VNA를 이용하면 측정 시스템 간단	송수신기간에 기준신호가 공급되어야함. Doppler Effect는 측정 불가능

PN코드 상관방법은 [그림 2]에서와 같이 Pseudo Random Sequence 신호를 PSK(Phase Shift Keying) 변조하여 송신하고, 수신 측에서는 무선채널을 거쳐 수신되는 신호를 복조한 후 reference Pseudo Random 신호와 Correlation시켜 Impulse Response를 얻는 방법으로서 변복조기 및 측정 장

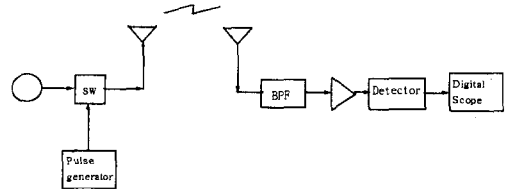


[그림 2] PN코드 상관방법

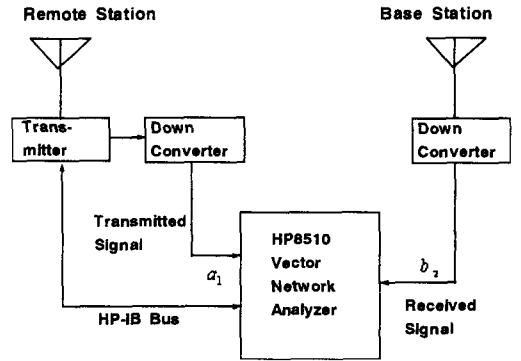
치가 복잡하고, 송수신시간에 동기신호가 필요하다.

임펄스 방법은 송신 측에서 매우 좁은 RF Pulse 신호를 주기적으로 송신하고, 수신 측에서는 무선채널을 거쳐 수신되는 RF Pulse의 반사파를 검파하여 오실로스코프로 측정하는 방법으로서, 수신 측의 Dynamic Range를 크게 하기 위해서는 높은 전력을 갖는 좁은 RF Pulse를 발생시켜야하는 문제가 있고, 다이오드에 의한 비동기 검파이므로 측정된 Impulse의 위상을 알 수 없다는 단점이 있다. [그림 3], [그림 4]에 제시된 Frequency Stepping 방법은 주파수 영역에서 무선채널의 특성을 측정한 후, 시간영역으로 역푸리에 변환(Inverse Fourier Transform)하여 Impulse Response를 얻는 방법으로서, Vector Network Analyzer를 이용할 경우 측정장치의 구성이 비교적 간단해지는 장점이 있는 반면, 주파수가 Sweeping 되는 동안 채널의 상태가 변하지 않아야 하기 때문에 송수신기의 이동 및 주변 환경의 변화에 의해서 나타나는 Doppler Shift 특성은 측정할 수 없다는 단점이 있다. 실내에서는 사람의 이동이 대부분이기 때문에 Doppler Shift가 그다지 크지 않을 것이므로 본 연구에서는 Frequency Stepping 방법을 이용하여 time invariant 채널 특성을 측정하였다.

측정시스템은 HP8510 Vector Network Analy-



[그림 3] 임펄스 측정방법



[그림 4] Frequency Stepping 방법

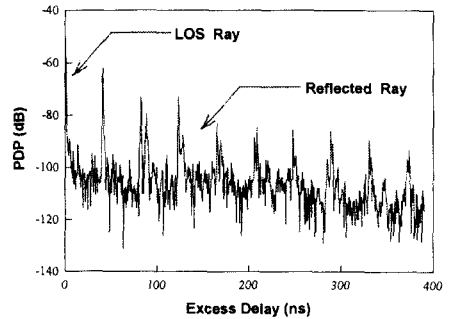
zer와 송신기 그리고 Down Converter로 구성되며, 무선통신시스템의 구성과 동일하게 하기 위하여 편의상 Base Station(BS)과 Remote Station (RS)으로 구분하였다. BS는 59~61 GHz 대역의 밀리미터파 신호를 발생시켜 안테나를 통해 공중으로 전파하는 송신기와 송신되는 밀리미터파 신호를 Coupling하여 HP8510C의 IF 신호로 변환시켜주는 Down Converter로 구성되며, BS는 무선채널을 거쳐 수신되는 59~61 GHz 대역의 신호를 HP8510C의 IF 신호로 주파수 변환해 주는 Down Converter와 안테나로 구성되었다. 방의 크기 및 벽면의 재질이 실내 무선 채널특성에 미치는 영향을 알아보기 위한 측정에서는 BS와 RS에 Bi-conical Horn 무지향성 안테나를 사용했으며, 안테나의 편파가 채널특성에 미치는 영향을 알아보기 위한 측정에서는 Conical Horn 지향성 안테나를 사용하였다. <표 2>에 측정에 사용된 안테나의 특성

을 요약하였다. Biconical Horn 무지향성 안테나의 복사패턴은 수평방향(Azimuth plane)으로는 무지향성, 수직방향(Elevation plane)으로는 지향성을 갖고, 수직편파 특성을 가지고 있다. Conical Horn 지향성 안테나는 수평방향, 수직방향으로 각각 약 15도의 3 dB Beamwidth를 가지고 있으며, 기본적으로 수직편파 특성을 가지고 있으나, Polarizer를 연결하면 좌선회 회전편파(circularly polarized wave) 특성을 얻을 수 있다.

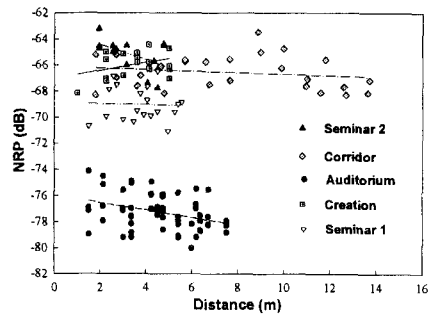
〈표 2〉 안테나의 특성

안테나 형태	방사패턴	편 파	이 득
Biconical Horn	수평: 무지향성 수직: 9도 3dB	Linear (수직)	9 dBi
Conical Horn	수평: 15도 3 dB BW 수직: 15도 3 dB BW	Linear (수직) Circular도 가능	21 dBi

실내채널 특성은 시간영역에서 임펄스 응답을 나타내는 PDP(Power Delay Profile), 송수신단의 전력비를 나타내는 NRP(Normalized Received Power), PDP에 퍼져있는 정도를 나타내는 RDS(RMS Delay Spread) 값들로 나타내며, 각 실내환경에 따른 PDP, NRP, RDS를 구하므로써 link budget, 셀 크기, 변조방식 등 시스템을 설계할 수 있다. 실내 공간에서의 전형적인 PDP를 [그림 5]에서 볼 수 있으며, 또한 거리에 따른 NRP 값의 감쇄 정도를 구하므로써 수신 단에서 원하는 수신 전력을 얻기 위하여서는 어느만큼의 송신전력을 전송해야 하는가의 Link Budget 문제를 풀 수 있다. 한편 거리에 대한 NRP 값들의 분포는 Omni-Directional 안테나의 설계 단계에서 결정되는 Directly-illuminated Coverage Area와 Indirectly-illuminated Coverage Area와도 깊은 관련이 있다. 채널 측정은 세미나 2실, 창조실, 복도, 세미나 1실,



[그림 5] 전형적인 PDP.



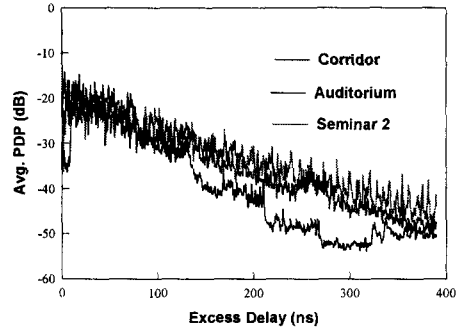
[그림 6] 거리에 따른 NRP의 변화

강당 등 구조가 각기 다른 4개의 실내 환경에서 측정하였으며 [그림 6]은 OROB(Omni-directional RS-Omni-directional BS) 구조인 경우, 각 측정환경에서 송,수신 안테나간의 거리에 대한 NRP 값의 분포를 보인 것이며, NRP 값들의 크기가 세미나 2실, 창조실, 복도, 세미나 1실, 강당의 순서로 분포함을 알 수 있다. 반사 손실이 큰 재질(시멘트, 석고)의 벽으로 이루어진 방에서는 낮은 NRP 분포를 갖는 반면에, 금속벽으로 이루어진 방의 경우는 여러 번 반사하여도 반사 손실이 작기 때문에 크기가 별로 감소하지 않은 Ray들이 계속 수신되어 높은 NRP 분포를 갖는다. [그림 6]에서 직선들은 각 측정환경에서의 NRP 값들을 MMSE(Minimum

Mean Squared Error) 알고리즘을 이용하여 linear fitting한 결과이다. 모든 방에서 안테나 사이의 거리 증가에 따라 NRP가 약간 감소 또는 유지되는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 안테나의 방사 패턴이 도너츠 형태이고 두 안테나간의 높이 차이가 1 m이기 때문에, 일정한 거리 범위 내에서는 거리에 따른 전파의 경로 손실과 높이 차이에 따른 안테나 이득이 서로 상쇄되어 나타나는 현상이다. 또한 복도에서 안테나간의 거리가 최대 14 m가 되어도 NRP값의 감쇄가 크지 않은 것은 벽면이 금속으로 되어있고 폭이 좁아서 Tunnel 효과에 의한 현상이라 판단된다. RDS 값은 거리보다는 방의 벽 중에서 많은 부분을 차지하는 벽의 재질에 따라 결정되며 금속과 같이 높은 반사특성을 갖는 벽으로 이루어진 환경에서는 큰 RDS를 갖지만, 나무와 같은 경우는 작은 RDS 값을 갖는다고 알려져 있으며 실제로 실험을 통하여 알 수 있었다. 특히 긴 터널구조를 갖는 복도에서는 waveguide의 전파 전파특성을 가지므로 더욱 큰 RDS 값을 가지게 된다.

2-2 실내 통신 방식 및 성능분석

밀리미터파 실내 통신시스템에서 우수한 성능을 발휘하는 최적 변조방식을 도출하기 위해서는 측정된 채널 임펄스 응답 데이터의 채널 모델링에 의한 변조방식의 성능 비교 분석이 필요하게 된다. 변조방식의 성능 비교 분석은 시스템에서 요구하는 최소한의 BER 성능을 만족시키기 위해 필요로 하는 SNR(Signal to Noise Ratio)을 결정하는 요소이기 때문에 시스템 구축에 드는 비용이나 효율 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 안테나의 종류와 채널 변화 특성 등에 따라 각각 다른 통신환경에 대한 BER 성능 분포를 통해 최적의 밀리미터파 실내 통신시스템을 구현하기 위한 통



[그림 7] 각기 다른 측정 환경에서의 평균치 PDPavg.(τ)

신환경과 여러 파라미터 등을 알 수 있게 된다. 본 절에서는 60 GHz 밀리미터파 실내 통신환경에서 측정된 채널환경(DRDB, DROB, OROB)의 임펄스 응답을 time invariant FIR-filter 채널 모델에 적용하여 QPSK, $\pi/4$ -DQPSK, 8PSK, 16QAM 변조방식에 대하여 SPW(Signal Processing Worksystem)를 이용하여 BER(Bit Error Rate) 성능을 비교함으로써 밀리미터파 실내 통신시스템에 적합한 변조방식과 통신환경을 살펴본다. 적용하는 측정 채널에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

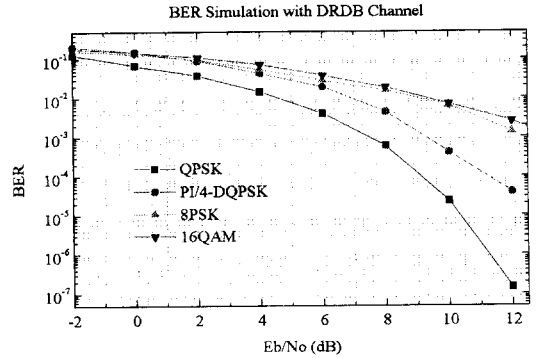
- 1) OROB(Omni-directional RS-Omini-directional BS): Base station(BS)과 Remote station(RS)의 안테나에 모두 무지향성 안테나를 사용한 경우이며 이는 LOS(Line-of-Sight) 경로가 존재하지 않더라도 통신이 가능한 환경을 설정한 것이다.
- 2) DROB(Directional RS-Omini-directional BS): Base station은 무지향성 안테나를 사용하며 사무실의 중앙에 위치하고, Remote station의 안테나는 지향성 안테나를 사용하여 Base station을 향하도록 하여 LOS 경로가 확보

되도록 설정한 통신환경이다.

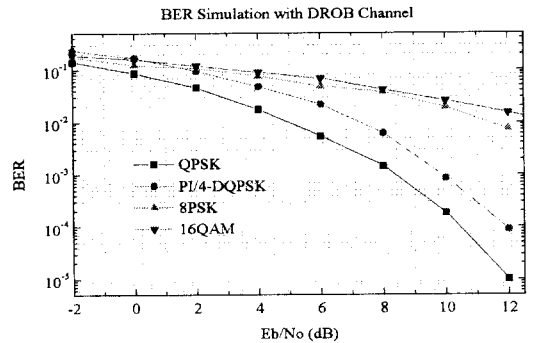
- 3) DRDB(Directional RS-Directional BS): Base station과 Remote station 안테나를 모두 지향성 안테나로 사용하여 Point-to-Point 통신환경을 설정한 것이다.

[그림 8]은 DRDB 통신환경에서 전송속도가 10 Mbps인 경우에 QPSK, $\pi/4$ -DQPSK, 8PSK, 16QAM 방식의 BER 성능을 비교한 그림이다. DRDB 채널은 point-to-point 통신환경으로서 거의 ISI가 없는 LOS 환경이라고 할 수 있고, 위의 결과에서처럼 채널 특성에 크게 영향을 받지 않고, 변조방식 고유의 BER 성능분포를 나타내고 있다. 그러나, DRDB 채널은 사람의 움직임이나 전파의 방해물이 없는 채널이기 때문에 실제의 실내 통신환경이라고 가정하기에는 다소 무리가 있다고 할 수 있다.

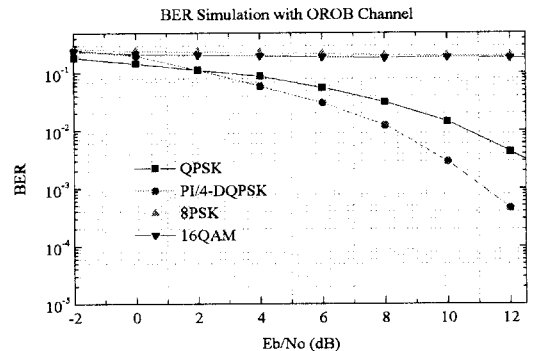
[그림 9]의 DROB 채널은 point-to-point 통신환경인 DRDB 채널과는 달리 base station의 안테나가 무지향성이기 때문에 LOS 경로의 확보가 용이하다는 점에서 유망한 통신환경이라고 할 수 있다. [그림 9]에서 QPSK와 $\pi/4$ -DQPSK 방식의 BER 성능은 약 1 dB 정도의 성능 차이를 보여 ISI가 없을 때보다 성능차이가 훨씬 줄어들었음을 알 수 있다. 이는 selective fading 환경일수록 DQPSK 방식이 QPSK 방식에 비해서 성능감소의 정도가 심하지 않기 때문에 나타나는 결과이다. 반면에 8PSK, 16QAM 방식의 BER 성능은 비슷한분포를 보이고 있다. [그림 10]의 OROB 채널은 base station과 remote station의 안테나가 모두 무지향성으로 실내 통신환경에서 매우 열악한 환경이라고 판단할 수 있다. OROB 채널의 경우는 $\pi/4$ -DQPSK 방식의 BER 성능이 QPSK 방식보다 좋을 수 있는데, 이는 OROB 채널이 심각한 selective fading의 영향을 받고 있어서 상대적으로



[그림 8] 변조방식에 따른 DRDB 환경의 BER. (전송속도 : 10 Mbps)



[그림 9] 변조방식에 따른 DROB 환경의 BER. (전송속도 : 10 Mbps)



[그림 10] 변조방식에 따른 OROB 환경의 BER. (전송속도 : 10 Mbps)

selective fading channel에서 성능 감소의 정도가 덜한 $\pi/4$ -DQPSK 방식의 BER 성능이 더 좋아진 것이라고 할 수 있다.

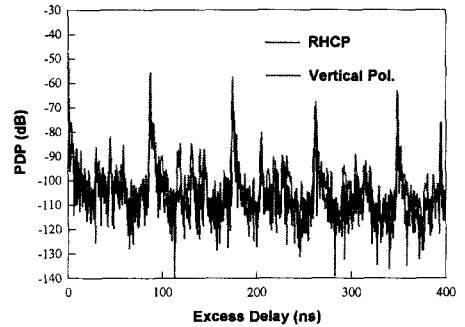
2-3 안테나 형태에 따른 채널 특성

송수신 안테나의 지향성과 안테나 편파가 통신 채널에 미치는 영향을 분석하기 위하여 송수신단에 원형편파, 선형편파, 고 지향성 안테나, 무 지향성 안테나를 이용하여 안테나 diversity를 측정 분석하였다. 이러한 측정을 통하여 고속통신환경에서 유리한 안테나 형태를 추론하려고한다.

2-3-1 안테나 편파에 따른 채널특성

[그림 11]은 창조실의 18번째 지점에서 송수신 안테나가 모두 수직 선형편파를 방사하는 경우와 우선회 원형편파를 방사할 때의 PDP를 측정하여 비교한 것이다. 50, 80, 130, 170 ns 에서 Ray들의 크기를 비교하면 우선회 원형편파의 경우가 약 5 dB ~ 10 dB 정도 감소하였음을 볼 수 있다. 이는 우선회 원형편파가 벽에 한번 반사하면 선회 방향이 좌선회 원형편파로 변하기 때문에, 우선회 원형편파를 수신하도록 Polarizer가 설치된 수신안테나에서 교차편파(Cross Polarization) 현상 때문에 Ray의 크기가 격감하기 때문이다. 그러므로 RDS 값에 큰 영향을 미치는 한번 반사된 Ray뿐만 아니라 홀수 번 반사된 Ray들의 크기가 작아지기 때문에 원형편파 안테나를 사용하면 RDS가 작아지고 이는 고속 통신환경에 우수한 성능을 기대할 수 있음을 의미한다.

<표 3>은 회의실의 13, 14, 18번째 지점에서 송수신 안테나를 LOS 상태로 위치시킨 후 안테나의 편파가 수직선형 편파인 경우와 우선회 원형 편파인 경우에 대한 RDS 값을 비교한 것으로서 각각



[그림 11] 수직 선형 편파와 우선회 원형 편파에 대한 PDP

<표 3> LOS 상태에서 수직선형 편파와 우선회 원형 편파의 경우에 대한 RDS 값 비교

측 정 지 점	R D S	비 고
13 번 지점	수직 선형편파 : 1.56 ns 좌선회 원형편파 : 1.37 ns	33 %
14 번 지점	수직 선형편파 : 2.32 ns 좌선회 원형편파 : 0.67 ns	29 %
18 번 지점	수직 선형편파 : 5.44 ns 좌선회 원형편파 : 3.48 ns	64 %

의 지점에서 원형 편파의 반사특성으로 인해 수직 선형편파인 경우의 RDS 값의 88 %, 29 %, 64 %로 감소함을 알 수 있다. 일반적으로 LOS인 경우는 수직 선형편파의 경우보다 원형편파의 경우의 RDS 값이 작으나 OBS(Obstructed)의 경우에는 원형 편파의 RDS 값이 오히려 큰 값을 갖기도 하므로 송수신단에 모두 지향성 안테나를 사용한 경우에는 반드시 LOS 경로가 확보되어야만 원형편파를 이용한 RDS 값의 감소 효과를 얻을 수 있다.

[그림 12]는 세미나 1실에서 선형편파와 원형편파를 전파하는 경우의 RDS값을 비교해 놓은 것이며 원형편파의 경우가 선형편파의 경우보다 작은

RDS 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그러나 6, 9, 20 번째 지점에서 상반되는 결과를 보이는 이유는 측정 시 사람의 이동 등으로 인해 채널이 고정되지 않아 PDP가 일그러진 현상 때문이다.

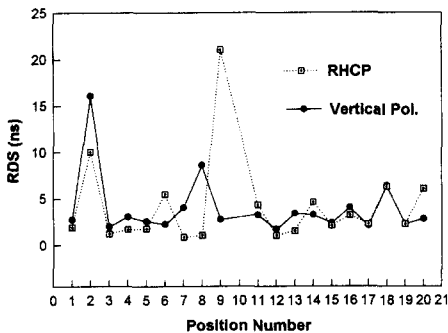
2-3-2 안테나 형태에 따른 채널 특성

창조실에서 <표 2>에 제시한 Biconical 안테나, Conical horn 안테나 등을 조합하여 측정하므로써, 미래의 고속 통신에 적합한 안테나 형태와 최적의 조합을 분석하였다. 실제의 통신 환경을 가상하여 BS는 중앙에 위치시키고 방의 각 지점에서의 채널 특성을 알아보기 위해 RS를 여러 지점으로 옮겨가면서 측정하였다. 아래의 세 가지 경우 모두 안테나로부터 방사되는 전파는 수직 선형편파이다.

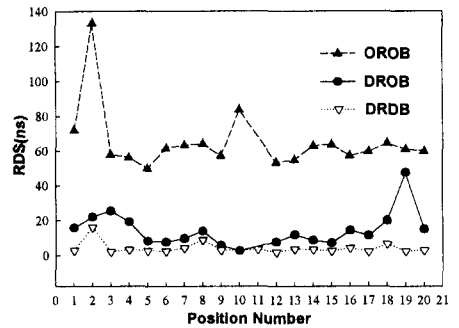
[그림 13]은 창조실의 여러 측정지점에서 각 안테나 형태에 대한 RDS 값을 비교한 것으로서, 그 크기는 OROB, DROB, DRDB의 순서임을 알 수 있다. 먼저 OROB의 경우는 BS와 RS 안테나를 마주보도록 포인팅해 줄 필요가 없는 반면에 60 ns 정도의 큰 RDS 값을 가진다. 이는 송수신단의 두 안테나가 Biconical 무지향성 안테나이므로 모든 방향으로 전파를 방사하고, 역시 모든 방향으로부

터 전파를 수신하기 때문이다.

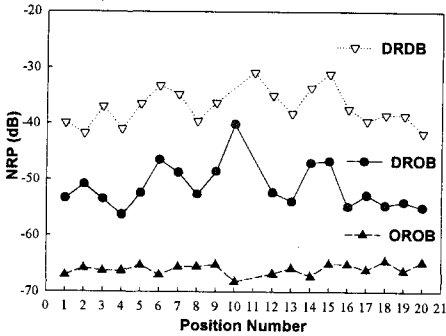
또한 BS와 RS 간의 거리가 가까우면 안테나간의 높이 차로 인해 안테나의 이득이 작아지므로, LOS Ray의 크기가 반사되어 수신된 Ray 보다 작아져 RDS 값이 커지게 된다. 이는 [그림 13]에서 회의실 중앙에 위치한 9, 10, 12번째 지점에서 RDS 값이 커지는 현상으로부터 확인할 수 있다. DROB의 경우는 RDS가 OROB 보다 매우 낮은 10 ns 정도의 값을 가지며, RS가 방의 구석이나 벽쪽에 위치했을 때 RDS 값이 커지고, 1, 2, 3, 18, 19, 20번째 지점의 RDS 값이 다른 지점의 값보다 큰 것을 확인할 수 있다. DRDB인 경우는 가장 낮은 ns 정도의 RDS 값을 갖지만 두 안테나가 정확히 마주 보도록 해주는 일이 어렵다는 단점이 있으며, RS의 위치에 대한 RDS값의 분포는 DROB와 같은 경향을 갖는다. 한편 OROB, DROB, DRDB 등의 안테나 형태에 따른 최고 전송 Symbol rate는 일반적인 관계식을 이용할 경우 각각 3.3, 20, 60 M Symbol/sec의 값을 갖는다. [그림 14]는 창조실의 여러 측정지점에서 각각의 안테나 형태에 대한 NRP 값을 비교한 것으로서, 크기는 DRDB의 경우가 제일 높고, DROB, OROB의 순서



[그림 12] 세미나 1실에서 선형, 원형 편파의 RDS 값 비교



[그림 13] 각 안테나 형태에 따른 RDS



[그림 14] 각 안테나 형태에 따른 NRP

임을 알 수 있다. 이는 DRDB의 경우 송수신 안테나의 이득이 나머지 두 안테나 형태보다 높아서 LOS Ray가 가장 강하게 수신되기 때문이다. OROB의 경우는 모든 방향으로 전파를 방사하고, 두 안테나간의 높이 차이로 인해 안테나의 이득이 제일 낮아져 전송 이득이 가장 낮다.

이상의 분석결과로부터 DROB의 경우에 송수신 안테나간의 정확한 포인팅이 필요하지 않고 작은 RDS 값을 가지며 전송손실이 비교적 작기 때문에 미래의 통신환경에 유망한 안테나 형태로 제시할 수 있겠다.

III. MMW Test Bed를 이용한 성능 평가

3-1 Test Bed 시스템의 구성

60 GHz 실내통신 시스템의 성능 분석과 검증을 위하여 Software Based Millimeter-wave Test Bed를 개발하였다. 기존의 무선 통신 시스템의 성능측정기는 통신 방식에 따라 시스템 사양에 맞는 알고리즘을 하드웨어로 구현하여 송수신 정보에 대한 성능과 오류를 측정한다. 그러나 새로운 통신 시스템이 설계되거나 통신 알고리즘이 바뀌게 되면 이 시스템의 성능을 측정하기 위하여 모든 부

분을 새로운 하드웨어로 구현해야 하는 번거로움과 비용, 시간 손실의 문제가 야기된다. 이런 문제점을 해결하기 위해 38 GHz와 60 GHz의 밀리미터파 대역에서 작동하도록 RF부분의 하드웨어를 제작하여 밀리미터파 통신 링크를 제공하고, 다양한 변복조 방식, 오류 정정 부호, 등화기, 동기 기술을 소프트웨어로 발생, 처리하며 모뎀 알고리즘의 flexible한 개발환경을 제공하도록 설계하였다. 즉, 시뮬레이션에만 의존하는 기존의 방법으로 디지털 통신 알고리즘의 성능을 평가하는 것은 실제 통신 채널에서의 성능을 완벽히 근사할 수 없는 한계를 지니고 있는데, 본 Test Bed에서 적용한 독창적 아이디어는 이런 한계를 극복하기 위해 기저대역 신호를 소프트웨어로 처리하고, 이 신호를 이용하여 밀리미터파 송수신기에 연결할 수 있는 Hardware-In-The-Loop-Simulation 형태의 성능 측정 방식을 구현하여 실제 통신 채널과 같은 환경에서 성능 측정을 실시간적으로 할 수 있도록 하였다. [그림 15]는 밀리미터파 Link Test Bed의 전체 시스템을 나타내는 구성도이다. [그림 15(a)]는 밀리미터파 test bed의 송신부 구성도이며 PC에서 기저대역 변조신호를 발생하며, 이 신호를 D/A변환기와 저역 필터를 통하여 I/Q Modulator에 신호를 전달한다. 전달된 신호는 L-Band Up-converter, 38/60 GHz 밀리미터파 송신부와 밀리미터파 반송파에 실린 광대역 데이터를 안테나를 통하여 전송시킨다. 송수신 안테나는 Diversity 특성에 따른 전파특성을 고찰하기 위하여 지향성 또는 무지향성 안테나를 이용할 수 있고, 전자파의 편파에 의한 반사파 특성을 측정하기 위하여 원형, 선형 편파를 갖는 안테나를 이용하도록 하였다.

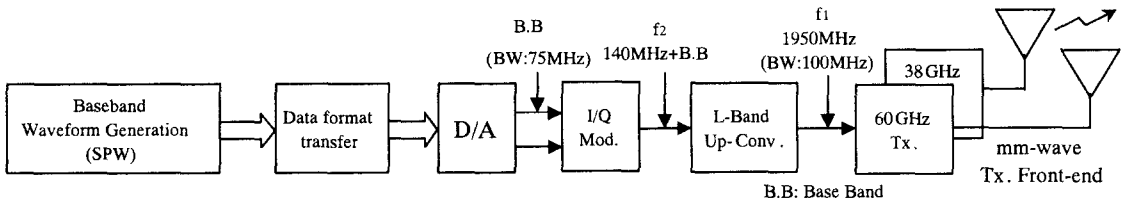
[그림 15(b)]의 수신부에서는 밀리미터파 채널을 전파하여 수신된 신호가 IF 대역으로, 다시 기저대역으로 down-conversion된다. A/D변환기를 통하여 나온 샘플링된 기저대역 waveform data se-

quence는 수신단의 workstation으로 전달한다. Workstation에서 SPW CGS 프로그램이 수행되어 송수신 bit stream을 비교하며 오류 bit를 검출하고 오류확률을 계산하므로써 밀리미터파 통신시스템 및 모뎀 알고리즘의 성능을 측정하도록 Test-Bed를 설계하였다.

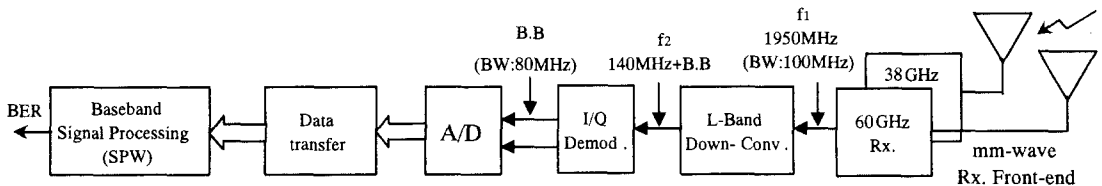
3-2 신호처리 장치 및 Interface

[그림 16]은 밀리미터파 Test-Bed system의 동작 구조와 신호처리 과정을 도시하였다. D/A변환기는 Pentium PC에 장착하는 EISA interface방식의 카드형식이며, 샘플링 클럭 synthesizer와 LPF (Low Pass Filter) 등으로 이루어져 있다. test bed 수신기에 사용된 A/D변환기는 VME interface 방식의 보드형태이며, 샘플링 카드, I/O 보드, 샘플링 클럭 synthesizer, VME/S-Bus adapter로 이루어져 있다.

송신기에서의 신호처리는 PN sequence를 이용하여 원하는 길이의 랜덤 비트 스트림을 발생시켜 오류성능 측정을 위한 송신 데이터열을 생성하고, Reed-Solomon code, BCH code, Convolutional code 등의 다양한 오류정정 부호를 적용하여 송신 데이터의 오류성능을 높여주는 알고리즘을 적용한다. 무선채널에서 생기는 갑작스런 채널열화 요소에 의한 오류성능 저하를 막기 위해 인터리빙의 깊이를 변화시켜 가면서 인터리빙 알고리즘을 적용한다. QPSK, DQPSK, GMSK, OQPSK, Pi/4-DQPSK, M-QAM 등의 다양한 변조방식을 적용하여 비트스트림 형태의 송신 데이터열을 심볼형태로 매핑시키고 Serial/parallel 변환기를 이용하여 N-point IFFT의 입력을 공급한다. IFFT를 수행하므로써 multipath fading 채널에 강한 다중반송파 전송방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 방식의 변조신호를 생성한다. OFDM

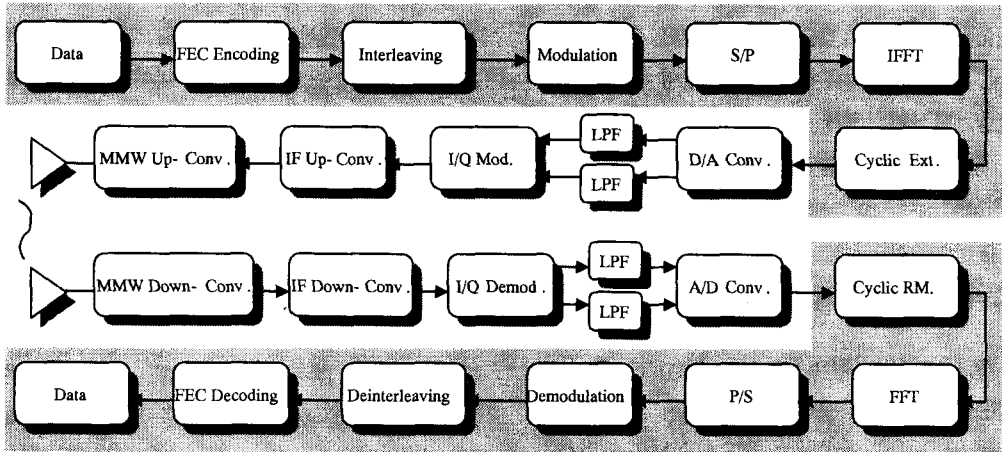


(a) 밀리미터파 Test-Bed의 송신기 구성도



(b) 밀리미터파 Test-Bed의 수신기 구성도

[그림 15] 밀리미터파 Test-Bed의 송수신기 구성도



[그림 16] 밀리미터파 Test-Bed system의 동작 구조 및 신호처리 체계

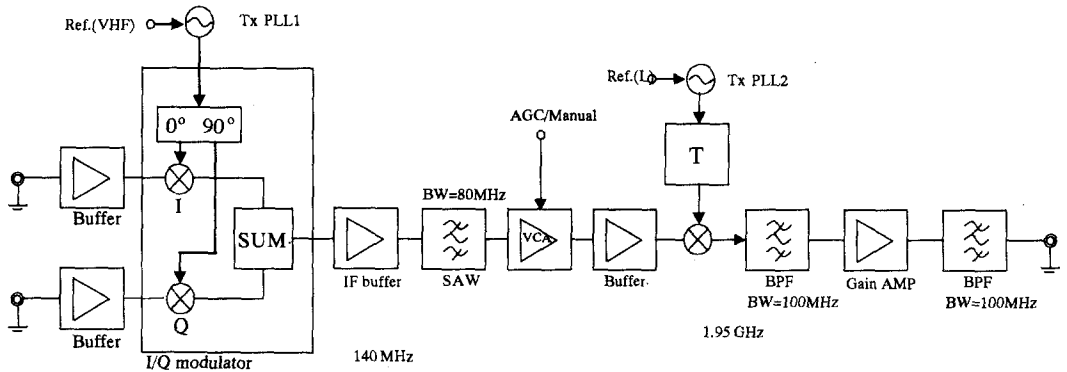
심볼을 펄스 shaping하고 VME-based D/ A 변환기의 buffer memory에 데이터를 이송하여 아나로그 파형을 발생시키기 위해 데이터 포맷 변환 및 D/A 변환기를 조정한다.

수신기에서의 신호처리는 수신된 밀리미터파 신호를 기저대역으로 변환하여 A/D 변환기로 샘플링하므로써 기저대역 수신신호를 디지털 시퀀스형태로 변환한다. 데이터 인터페이스 및 A/D 변환기 원격조정 프로그램이 디지털 시퀀스형태의 데이터를 기저대역 수신신호 처리 소프트웨어로 입력해 준다. Serial/parallel 변환기를 이용하여 N-point FFT의 입력을 공급한다. FFT를 수행하고 심볼을 비트 스트림형태로 변환시킨다. 인터리빙된 데이터를 디인터리빙(deinterleaving)하고 오류정정부호로 디코딩(decoding)하여 송신된 데이터열과 비교하므로써 오류확률과 Eye diagram 및 constellation plot, spectrum, BER 등을 구한다.

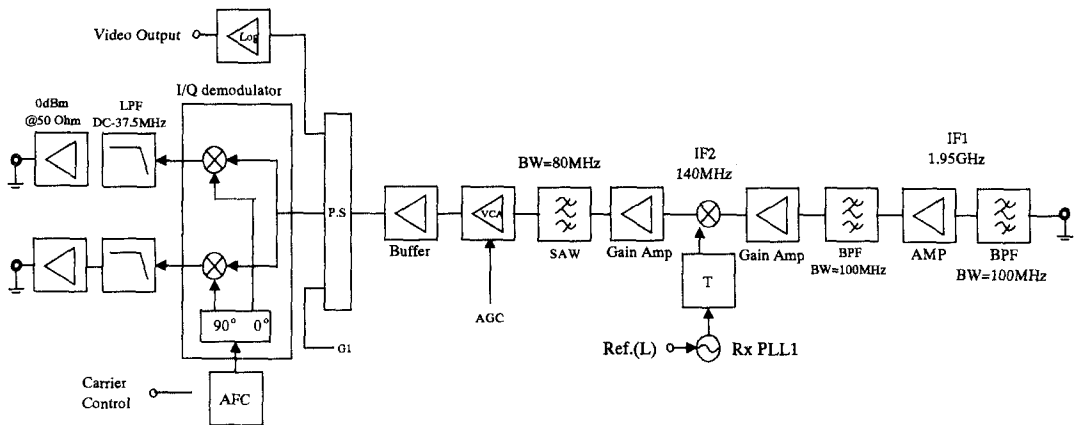
3-3 L-band Up/Down System 및 60 GHz Up/Down System

L-band up/down system의 구성은 [그림 17]과 같다. SPW와 LPF를 거친 신호는 I/Q 변조기와 L-band 상향 혼합기를 거쳐 80 MHz 대역폭의 신호를 발생시킨다. 광대역 신호이므로 시스템의 비선형 특성을 고려하여 증폭기의 1 dB compression point에서 8 dB 이상의 backup을 갖도록 설정하였다. 또한 신호의 전송 대역 내에서 대역 통과 신호의 flatness도 중요하므로 증폭기와 필터를 이러한 시스템의 광대역 요구조건에 맞도록 설계하였다.

L-band down converter에서는 하향 혼합기를 이용하여 140 MHz의 IF로 바꾸어 주고, I/Q 복조기를 이용하여 기저대역신호로 변환한 후 LPF를 통하여 A/D converter로 신호를 전달한다. <표 4>에 설계 제작된 L-band up/down Converter의 사양을 제시하였다. 개발된 60 GHz 밀리미터파 송수신기를 [그림 18]에 제시하였다. L-band에서 전달된 광대역의 신호는 60 GHz 신호로 변환되어 안테나를 통하여 송신되며, Local Oscillator는 PLL로 locking을 하여 주파수를 안정화하였다. 수신기의 안테나를 통하여 수신된 신호는 하향 혼합기를 거



(a) L-band up converter system.



(b) L-band down converter system.

[그림 17] L-band up/down converter system.

쳐 down-conversion된 후에 L-band 저잡음 증폭기를 이용하여 신호를 증폭하여 L-band 수신부로 신호를 전송시킨다.

3-4 MMW Test Bed를 이용한 시험 및 성능 분석

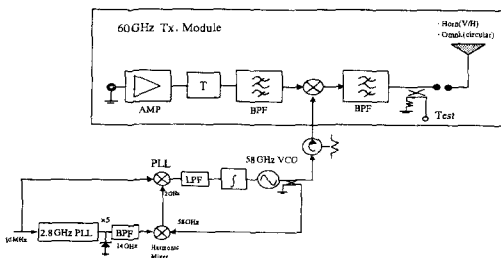
60 GHz test bed를 이용하여 loop-back 실험을

수행한 1차 결과를 [그림 19]에 나타내었다. 신호의 constellation은 OFDM-DQPSK를 수행한 결과를 나타낸 것이다.

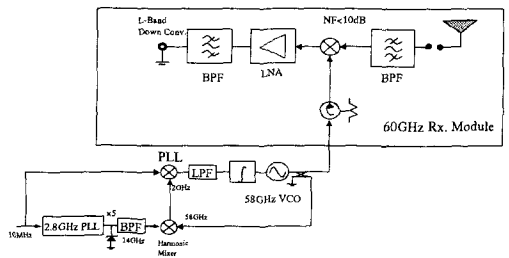
위의 그림에서 볼 수 있듯이 SPW에서 나온 신호의 constellation은 선명하게 표시되어 있지만 I/Q modulator와 demodulator를 통과한 신호의 constellation은 길게 늘어져 보이게 나타난다. 이러한 이유는 신호 대역에서의 amplitude의 ripple이

〈표 4〉 L-band up-converter 규격서

Item	Spec.	Item	Spec.
Input baseband I/Q -Level -Bandwidth	0 ~ -30 dBm @50 ohm 0 ~ 40 MHz	I/Q demodulator -Gain balance -Phase balance	$\leq \pm 0.25$ dB $< \pm 1$ degree
I/Q modulator -Gain balance -Phase balance	$\leq \pm 0.25$ dB $< \pm 1$ degree	Output baseband I/Q -Level -Bandwidth	1 Vp-p @50 ohm 0~40 MHz
Output frequency -Bandwidth	2.0 GHz 100 MHz	AGC -Range -Gain control step	60 dB 0.5 dB step
Output power -Flatness	10 dBm (normal) $< \pm 0.5$ dB	Local oscillator -Synthesizer output -Ref. frequency -Stability -Phase noise -Frequency step -Harmonics	1.66~1.86 GHz 10 MHz 0.001 ppm 95 dBc/Hz @10kHz < 1 MHz < 30 dBc
Local oscillator -Synthesizer output -Ref. frequency -Stability -Phase noise	140 MHz, 1.66~1.86 GHz 10 MHz 0.001 ppm 95 dBc/Hz @10 kHz	Semi AFC -Center Freq. -Freq. resolution -Phase control -tracking range	140 MHz ≤ 10 Hz $\leq \pm 1$ deg. 30 MHz
AGC -Range -Gain control step	60 dB 1 dB	Spurious level	< -50 dBc
Spurious level	< -50 dBc	I/O output impedance	50 ohm
Input frequency	2.0 GHz	Noise Figure	< 2 dB
Input signal level	-90 dBm ~ -15 dBm		



(a) 60 GHz 송신기 구성도



(b) 60 GHz 수신기 구성도

[그림 18] 60 GHz 송수신 시스템 구성도

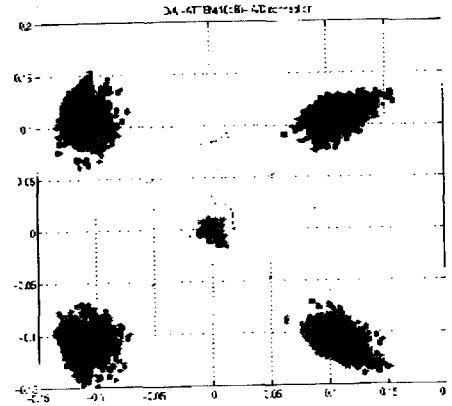
발생하여 나타난 현상이다. 또한 L-band system을 통과한 신호의 constellation은 nonlinearity의 성분이 포함됨으로 constellation이 퍼짐을 볼 수 있다.

신호의 constellation의 퍼짐과 amplitude의 ripple을 보정하기 위하여 신호의 precorrection을 수행했을 때의 결과를 [그림 20]에서 나타내었다. 그림에서 보듯이 성능이 개선됨을 볼 수 있을 것이다. 위에서 제시한 결과는 현재 시스템의 integration과정에서 수행한 실험 결과의 일부이며 좀더 자세한 실험 결과는 다른 기회에 자세히 제시하기로 한다.

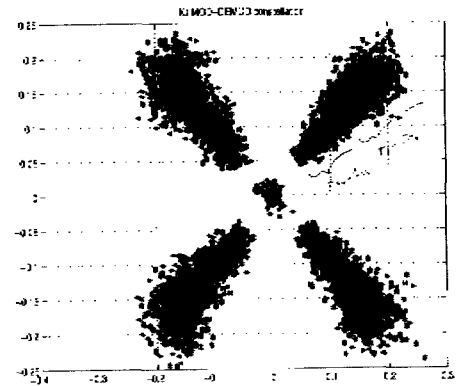
IV. 결 론

60 GHz 밀리미터파를 이용한 실내 무선 통신 시스템은 저주파수의 무선통신 시스템과 달리

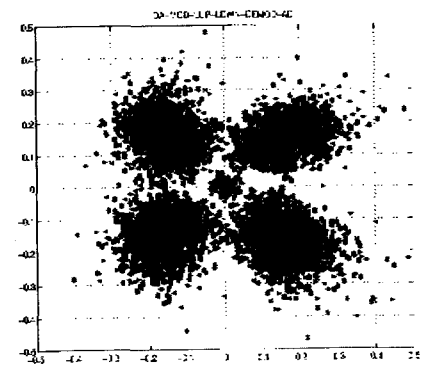
실내 환경에 따라 통신 채널 특성이 매우 복잡하므로 시스템 설계에 앞서 이러한 채널의 특성을 정확히 분석하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 밀리미터파 실내 통신 시스템 구성을 살펴 보았고 안테나의 편파와 형태에 따른 통신 시스템의 영향을 Frequency Stepping 방법을 이용하여 time invariant 채널 특성을 측정하였다. 60 GHz 밀리미터파 실내 통신환경에서 측정된 채널환경(DRDB, DROB, OROB)의 임펄스응답을 time invariant FIR-filter 채널 모델에 적용하여 QPSK, $\pi/4$ -DQPSK, 8PSK, 16QAM 변조방식에 대하여 SPW를 이용하여 BER 성능을 비교하였다. 각각의 통신환경에서 전송속도를 변화하면서 BER 성능을 비교하여 전송 가능한 최대 전송 속도를 살펴보았다. 시스템의 Hardware 설계, 제작과 관련하여 성능 분석과 검증에 위하여 Millimeter Test Bed를 설계 제작하였다. 시스템에서부터 부품에 이르기까지 개발된 Test Bed를 이용하여 성능 분석 그리고 검증에 이용할 수 있었다. 현재 개발된



(a) D/A-LPF-A/D loop.

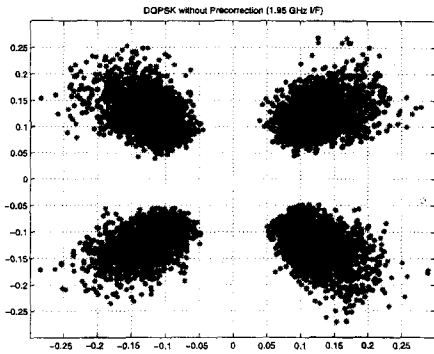


(b) D/A-LPF-I/Q mod.-I/Q demod.-LPF-A/D loop.

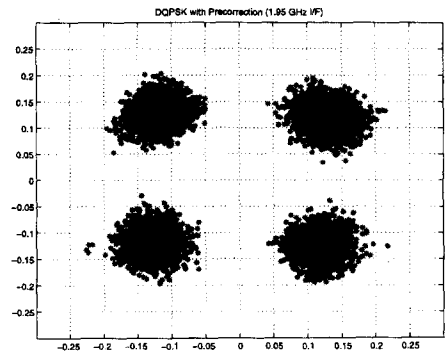


(c) D/A-LPF-I/Q Mod-L-Band Up Conv.-L-band Down conv.-I/Q Demod-A/D loop.

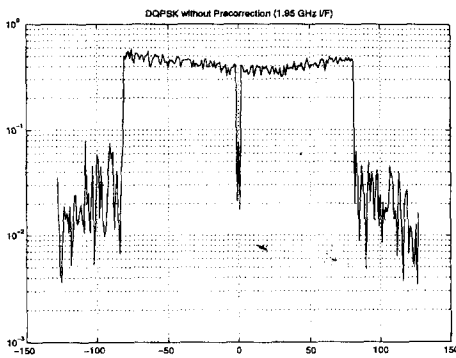
[그림 19] Loop-back 실험의 constellation.



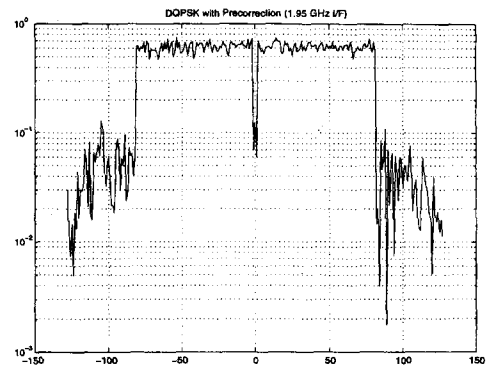
(a) DQPSK constellation without precorrection.



(b) DQPSK constellation with precorrection.



(a) DQPSK Spectrum without precorrection.



(b) DQPSK Spectrum with precorrection.

[그림 20] 신호의 Precorrection을 수행할 때의 비교

밀리미터파 실내통신 시스템용 Test Bed는 향후 전파 자원 기술 개발에 이용하기 위하여 연구, 제작되었으며 이를 이용하여 이동용 밀리미터파 통신 시스템에도 활용하려고 한다.

무선전송기술 연구실 연구원 모두에게 감사드립니다.

감사의 말씀

본 연구는 정보통신부의 연구지원을 받아 수행한 국책 연구과제로써 연구에 참가한 광주과학기술원 센서시스템 연구실 연구원과 삼성종합기술원

참고문헌

- [1] 김용훈, “근거리 광대역 통신을 위한 밀리미터파 이용 및 기술 개발”, 차세대 이동통신시스템 기술 세미나, 한국통신학회, 4월, 1996.
- [2] 김용훈 외, “밀리미터파대 무선 전송 기술

- 개발에 관한 연구(I)”, 연구보고서, 광주과학기술원, 정보통신부, 1997.
- [3] 김용훈 외, “밀리미터파대 무선 전송 기술 개발에 관한 연구(II)”, 연구 보고서, 광주과학기술원, 정보통신부, 1998.
- [4] Takimoto, Y, “Recent Activities on Millimeter Wave Indoor LAN System Development in Japan”, *IEEE MTT-S Digest*, pp. 405-408, 1995.
- [5] H. Meinel, “Recent Advances on Millimeter Wave PCN System Development in Europe”, *IEEE MTT-S Digest*, pp. 401-404, 1995.
- [6] Y-H Kim, “Software Based Millimeter wave Test Bed for Hardware-In-The-Loop-Simulation of Radar and Communication Systems”, *MTT-S European Wireless 98*, Oct. 5-9, Amsterdam, The Netherland, pp. 337-342, 1998.
- [7] Y. Miura, A. Kato, T. Manabe, T. Ihara, “Experimental Results on 100 Mbps Digital Transmission over a Millimeter-wave Indoor Wireless Channel at 60 GHz”, *Proc. of ISAP 96*, pp. 181-184, 1996.
- [8] S. J. Gizinski III, J. C. Cardoso, “High Data Rate Wireless Communications”, *Micro-wave Journal*, pp. 102-122, Oct. 1996.
- [9] E. Boch, “High Bandwidth MM-Wave Indoor Wireless Local Area Networks”, *Micro-wave Journal*, pp. 152-158, Jan. 1996.
- [10] T. Ihara, K. Fujimura, “Research and Development Trends of Millimeter-wave Short-range Application Systems”, *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79B, no. 12, pp. 1741-1753, 1996.

≡필자소개≡

김 용 훈

1974년 2월: 경희대학교 전파공학과
(공학사)

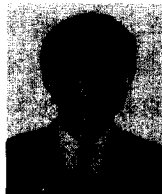
1976년 2월: 연세대학교 대학원 전자
공학과 (공학석사)

1990년 7월: 독일 Stuttgart 대학교
Dr.-Ing. (공학박사)

1990년~1994년: 한국항공우주연구소 책임연구원 실장

1995년~현재: 광주과학기술원 부교수

[주 관심분야] 밀리미터파 통신, 레이더시스템, ITS



김 기 호

1991년 8월: Uni. of Texas, Austin

현재: 삼성종합기술원, 디지털통신 Lab.
실장