

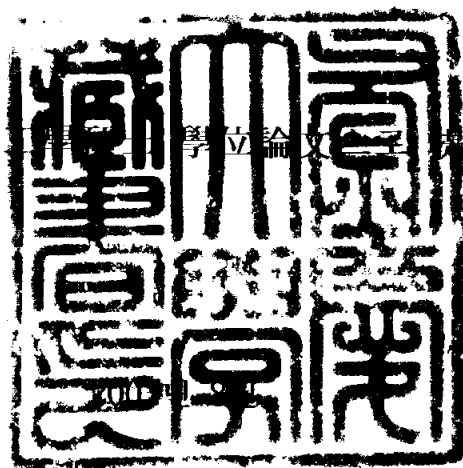
770
530

공학석사 학위논문

초고속 무선 LAN 서비스를 위한 5GHz 주파수대의 전파특성 분석

지도교수 하 덕 호

이 論文을



學位論文으로 出함

부경대학교 산업대학원

정보통신공학과

권 상 룡

이 논문을 권상룡의 공학석사
학위논문으로 인준함

2003년 6월 21일

주심 공학박사 윤 종 락 (인)

위원 공학박사 장 주 석 (인)

위원 공학박사 하 덕 호 (인)

목 차

Abstract	1
제1장 서 론	3
1. 서 론	3
제2장 무선 LAN의 기술 개발 동향	5
2.1 무선 LAN의 종류와 특성	5
2.1.1 망구성 방식에 의한 분류	5
2.1.2 전송 방식에 의한 분류	6
2.2 국내외 무선 LAN의 환경과 발전동향	10
2.2.1 미국	11
2.2.2 일본	12
2.2.3 국내	14
2.3 무선 LAN에서의 필수 기술	16
2.3.1 OFDM기술	16
2.3.2 무선랜의 표준화 동향과 전파특성 파악의 중요성	22
제3장 무선 LAN 전파특성 해석기법	23
3.1 3D-RAY TRACING 알고리즘	23
3.1.1 송신기와 수신기의 구현	23
3.1.2 벽면에 의한 반사 및 투과	26
3.2 시뮬레이터와 측정결과의 비교	31
제4장 실내 무선전파 환경에서의 시뮬레이션 및 평가	35
4.1 2.4 GHz 대역의 전파특성	35
4.1.1 가시거리 환경 시뮬레이션 결과	35

4.1.2 비가시거리 환경 시뮬레이션 결과	41
4.2 5 GHz 대역의 전파 특성	49
4.2.1 가시거리 환경 시뮬레이션 결과	49
4.2.2 비가시거리 환경 시뮬레이션 결과	51
제5장 결론	52
참고문헌	53
감사의글	

그 립 목 차

[그림 3.1] 정다면체로 구현한 원형 송신기 모델링	24
[그림 3.2] 수신 반경에 따른 수신구	24
[그림 3.3] 가시거리와 반사된 Ray에 대한 수신구	25
[그림 3.4] 수평 편파의 반사 및 투과	27
[그림 3.5] 수직편파의 반사 및 투과	27
[그림 3.6] 입사 Ray와 반사면에 따른 반사 Ray의 진행방향	29
[그림 3.7] 시뮬레이션 및 측정 환경	32
[그림 3.8] 수직편파에 대한 측정 결과 및 시뮬레이션 결과	33
[그림 3.9] 원형편파에 대한 측정 결과 및 시뮬레이션 결과	34
[그림 4.1] 가시거리 환경 시뮬레이션 구현 환경	36
[그림 4.2] 가시거리 환경에서의 편파에 따른 페이딩 특성	37
[그림 4.3] 가시거리 환경에서의 원형 편파와 편파다이버시티의 페이딩 특성	38
[그림 4.4] 각 페이딩 환경에서의 DS-CDMA BER 성능 시뮬레이션 블럭도	40
[그림 4.5] 가시 거리 환경에서의 BER 개선도	41
[그림 4.6] 비가시거리 환경 (1)	42
[그림 4.7] 비가시거리 환경(1)에 대한 편파에 따른 페이딩 특성	43
[그림 4.8] 비가시거리 환경(1)에 대한 원형편파와 편파 다이버시티의 페이딩 특성	43
[그림 4.9] 비가시거리 환경 (2)	44
[그림 4.10] 비가시 거리환경 (2)의 편파에 따른 페이딩 특성	45
[그림 4.11] 비가시 거리환경(2)에서의 원형편파와 편파 다이버시티의 페이딩 특성	46
[그림 4.12] 비가시 거리환경(1)에서의 BER 개선도	47
[그림 4.13] 비가시 거리환경 (2)에서의 BER 개선도	48
[그림 4.14] LOS 환경에서의 편파에 따른 페이딩 경감 특성	49
[그림 4.15] LOS에서의 원형편파와 편파다이버시티의 페이딩 경감효과 ..	50
[그림 4.16] 비가시 거리환경에 대한 원형편파와 편파다이버시티의페이딩경감 효과	51

표 목 차

[표2.1] 전송방식에 따른 기술 현황 비교	9
[표2.2] 미국 무선LAN 서비스 제공현황	11
[표2.3] 일본의 2.4 GHz 대역의 주파수 분배(단위:MHz)	12
[표2.4] 일본의 2.4 GHz대역 주파수 기술 기준	13
[표2.5] 국내의 용도, 주파수, 전파 형식	14
[표2.6] 국내 사업자별 망 구축 현황	15
[표4.1] 가시거리 환경에 대한 페이딩 특성	39
[표4.2] 비가시거리 환경 (1)에 대한 페이딩 특성	44
[표4.3] 비가시 거리 환경(2)에 대한 페이딩 특성	46

**An analysis on propagation characteristic of 5GHz
frequency band for high speed Wireless LAN service**

SANG-RYONG KWON

Department of Telematics Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University

Abstract

The request of high speed and wide bandwidth is increased with multimedia communication on account of the spread of PC, PDA, Handyterminal etc. Therefore, the construction of super high speed information infrastructure is needed really. In this thesis we will considerate of a recent market, standardization, developmental tendency of technique. Besides we study radio wave propagation for 5GHz frequency bandwidth of super speed wireless LAN. On the side, IEEE802.11a and Hiperlan-2 of Europe have standardized Super high speed wireless LAN which uses techniques of OFDM and is able of transmission of maximum 54Mbps. Many manufactured goods are produced recently in 5GHz frequency bandwidth.

Now, Wireless LAN have only 2 Mbps speed for 2.4GHz frequency band width. So we considerate two market fields.

One is equipment field, another is service field. Wireless LAN Markets are become lively. In the country KT(Korea Telecommunication) is leader through KT Netspot. Although the speed of wireless

LAN is later than wired LAN, wireless LAN markets have an infinitely latent power. As stated above, many merits are easy network connection between one building and another, mobility of terminals, unnecessary of cable establishments. We will have thus backgrounds and begin basic study for super high speed LAN. 5GHz wireless LAN has competitive power as compared with wired LAN. Also, we explain and analyze propagation characters of radio waves for 5GHz frequency bandwidth, describe a countermeasure of diminishing fading losses.

In chapter 2, we will look around a tendency of technique development. We will analyze and understand an essential technique and a tendency of standardization.

In chapter 3, 3D Ray-Tracing method will be explained. The result of materialized simulation will be compared with the measured result. In chapter 4, simulation data are analyzed for 2.4 GHz and 5GHz. Measured data of 2.4GHz are compared with simulation data of 2.4 GHz frequency bandwidth. In conclusion, measured data of 5GHz will be estimated through simulation data of 5GHz.

제 1 장 서 론

1. 서 론

PC, Notebook, PDA, Handy-Terminal 등의 보급확대 등으로 유무선 인터넷 기반의 고속 광대역 멀티미디어 통신 수요가 증가하고 있다. 특히, 초고속 정보 인프라 구축의 필요성이 요구되는 가운데, 유선 분야에서는 Fiber를 이용한 10GHz이상의 Back-Bone Network이 구축되고 있는 상황이고, 초고속 인터넷 가입자도 1000만을 바라보는 놀라운 성장을 이루었다. 이에 발맞추어 무선 분야에서도 초고속 무선 접속 망에 대한 표준화와 서비스 제공에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다[1].

본 논문에서는 초고속화에 따른 무선 LAN의 최근의 시장, 표준화 및 기술 발전 동향 등을 살펴본다. 또한 초고속 광대역 무선 LAN의 5GHz 주파수에 대한 전파전파 특성에 대하여 분석 연구한다. 한편, 초고속 무선 LAN의 표준화 동향을 살펴보면, IEEE802.11a와 유럽의 HiperLAN 2에서 OFDM 방식을 사용하여 최대 54Mbps의 초고속 전송이 가능하도록 표준화되었고, 관련 제품도 시장에 출시되고 있다. 현재 무선LAN은 2.4GHz 대역에서 2Mbps정도의 속도인 점을 감안하면 5GHz에 대한 연구가 시급한 현실이다.

이와 같은 배경을 갖는 초고속 무선 LAN에 관한 기초 연구로, 본 논문에서는 속도 면에 있어서 유선과 경쟁력을 가질 수 있는 5GHz

의 무선 LAN 주파수대의 무선전파의 전파 특성을 분석 해명하고, 페이딩 경감 대책에 대하여 기술한다. 제2장에서는 무선 LAN의 기술 개발 동향을 살펴보고자 한다. 무선 LAN의 종류 및 특성, 그리고 무선 LAN에서의 필수 기술과 표준화 동향 등을 파악하고 분석하게 될 것이다. 제3장에서는 본 논문에서 시뮬레이션에 사용되고 있는 3D Ray-Tracing 기법의 알고리즘과 구성에 대하여 설명하고 구현된 시뮬레이터의 결과와 실제 측정 결과를 비교해 보게 될 것이다. 제 4장에서는 실내 무선 무선전파 환경에서의 2.4GHz 와 5GHz의 시뮬레이션 데이터를 비교 분석하고, 2.4 GHz의 실제 측정치와 시뮬레이션 결과를 비교 분석한 후, 5GHz에서의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 측정치를 예측하게 될 것이다.

제 2 장 무선 LAN 기술 개발 동향

2.1 무선 LAN의 종류와 특성

2.1.1 망구성 방식에 의한 분류

무선 LAN 은 크게 Indoor 와 Outdoor 로 크게 분류할 수 있다. Wireless LAN 은 망의 설치 유형에 따라 사설망 성격의 독립형과 공중망 성격의 기반 구축형으로 나뉘 볼 수 있다. 독립형은 AP 의 영역으로 이동시 Handover 역할을 하게된다. 망구성 방식에 의한 구분에는 국부적 무선 LAN, 유선 LAN 에 접속된 서버를 공유하는 무선 LAN, 유선 백본(Backbone)에 무선 액세스포인트를 접속하는 방식, 캠퍼스의 원거리 두 건물을 외부 안테나로 연결하여 접속하는 방식을 들 수 있다.

1) 부분적인 무선 LAN 접속

단위 부서에서 전체적으로 무선을 설치한 방식으로 소규모의 단위 부서, 지사 별로 사용 가능한 방식이다. 이 방식은 각 단말들이 동배간 방식 즉 분산제어 방식으로 각 파일을 공유하는 것이다.

2) 유선 LAN에 접속된 서버를 공유하는 무선 LAN 접속

기존 유선 LAN 에 접속된 서버에 무선 LAN 접속카드를 추가하

여 구성하는 방식으로 기존 서버에 무선 단말을 접속시키는 비용을 저렴하게 구축할 수 있다.

3) 유선 백본에 무선 액세스포인트를 접속하는 무선LAN 방식

또는 스타형 LAN 의 유선 백본에 MAC 브리지 기능(유무선 신호변환)을 하는 액세스 포인트를 설치하여 무선 단말에서 기존 망의 자원(파일/프린터 공유, 호스트접속 등)을 공유할 수 있다.

4) 외부 안테나로 연결하여 접속하는 무선 LAN 방식

기존 망이 설치된 건물간에 케이블링 작업이 없고 최고 2Km 정도까지 두 망을 연결할 수 있다. 두 개의 액세스포인트 또는 PC 용 브리지/라우터/게이트웨이가 사용되며 두 건물간의 LAN을 연결하기 위해 방향성 안테나가 사용된다. 일대일간의 통신을 위해서는 방향성(Directional)안테나가 사용되며 일대 다수간의 통신을 위해서는 전방향성(Omni Directional) 안테나가 사용된다.

2.1.2 전송 방식에 의한 분류

일반적으로 전송방식에 따라 3가지로 분류해 보면 확산 스펙트럼 방식, 협대역 마이크로웨이브 방식, 적외선 방식이 있다.

1) 확산 스펙트럼 방식

군사 목적으로 개발된 것으로 어떠한 신호의 정보를 전송하기 위

하여 필요한 최소대역폭 이상으로 전송하는 방식이다. 이는 데이터와 무관한 부호에 의하여 대역 확산이 되고, 수신기에서는 그와 동일한 부호를 갖는 동기 수신기가 역확산과 동기 수신기를 위해 사용된다. 전송도중 발생하는 Jamming, Interference와 같은 의도적 간섭에 쉽게 영향을 받지 않으며, 의도하지 않은 수신측에서 신호를 검출하기 어렵기 때문에 정보보호 측면에서 유리하다.

2) 적외선 방식

적외선(Frequency $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{14}$ Hz)은 Microwave에 비하여 고주파이므로 전파특성이 다르다. 적외선파를 이용하여 TV, VTR 등의 가전제품의 Remote control로 활용되고 있으며, 초고속 전송에 적합한 전송 방식이다. 적외선 방식의 장점은 고주파수에 전송속도 및 속도개선의 잠재성, 그리고 송수신 장비에 주로 반도체 소자를 사용하므로 고속 처리가 가능하다는 것이다. 또한 사용 환경 주변에 적외선 대역의 전파를 발생하는 기기가 거의 없어 간섭에 의한 영향이 적고 통신기기 자체도 소형이고 가벼워 전력 소모가 적다. 단점은 가시광선처럼 장애물을 통과하지 못하고 사방으로 산란되면서 신호가 수신 장치로 급격히 감소하기 때문에 시야가 트인 곳에서만 사용 가능하므로 가급적 높은 천장이 필요하며 다른 방식에 비하여 운용 범위가 좁다. 주의 환경의 빛, 그리고 신호 감지 과정에서 생기는 열잡음 등에 의해 발생하는 신호의 질 저하 등이다. 적외선 방식에 사용되는 파장의 길이는 780mm와 950mm 가

주로 이용되며, 3 마일 이상의 빌딩간에서는 Direct infrared 방식이 사용된다. 넓은 공간의 사무실 벽과 천장 등에는 반사를 이용하는 Diffuse방식 및 반사를 이용하지 않는 가시선 방식을 사용한다. 반사방식은 광전력이 발사되어 여러번의 반사를 거쳐 전달되는 방식으로 송신기와 수신기 사이의 가시 경로(line-of-sight path)가 필요 없다는 장점을 지니고 있다. 그러나 다중경로 전파로 인해 속도에 제약이 따른다. 다중 경로로 인한 분산에서 야기되는 속도의 제한을 피하기 위해 제안된 방식이 가시선 방식이다. 이 방식의 기본원리는 천장에 부착된 적외선 송·수신 장치로 빔(beam)을 송신하고 장치로부터 반사되는 빔을 수신하는 것이다. 송·수신 장치는 방의 크기에 따라 단순한 반사기의 구실을 하기도 하고 Repeater를 갖는 능동적 송·수신 장치로 구성할 수도 있다.

3) 협대역 마이크로웨이브 방식

협대역 마이크로웨이브 방식은 고주파수 대역에서 비교적 좁은 대역을 한 개의 채널 단위로 할당하여 사용하는 방식이다. 국내의 경우, 일반적으로 협대역 마이크로웨이브 방식을 이용한 무선LAN은 5.725~5.825 GHz, 17.700~17.740 GHz, 19.260~19.300 GHz의 주파수 대역을 사용하는데 단말기에 부착되는 단말과 허브의 역할을 하는 AP(Access point)와의 통신방식은 음성 이동통신망에 적용되는 셀룰러 방식과 비슷한 형태를 갖고 있다. 협대역 마이크로웨이브 LAN에서의 주요 기술적인 문제는 다중경로(Multipath effect)의 ISI(International Symbol Interference)와 신호의 Fading 문제이다.

[표 2.1] 전송방식에 따른 기술 현황 비교

구분	스펙트럼 확산방식	협대역마이크로방 식웨이브	적외선방식
주파수	2.400~2.480GHz, 5.725~5.825GHz	725~5.825GHz 17.700~17.740GHz, 19.260~19.300GHz	3×10^{14} Hz
최대사용범위	32~244m 또는 4,645m ² 까지	12~40m또는 4,645m ² 까지	10~25m
가시성필요	없음	없음	있음
전송전력	10mW 이하	10mW 이하	적용되지 않음
빌딩간의 사용	불가능	가능	불가능
허가필요 유무	필요 없음	필요 없음	필요 없음
전송속도(유선 대비%)	20~50%	33%	50~100%
방법	확산데이터 변조에 의한 광대역주파수전송	여러 특정 주파수중 하나의 협대역주파수로 전송	적외선으로 전송
특성	사물투과 가능 및 보안성 우수	사물 투과 가능	고속전송 가능

장점으로는 전송시 고체 물체의 통과가 어느 정도 가능하다는 점
과 다른 고주파 성분에 의한 간섭이 적어 저출력(10 mW이하)으로

전송이 가능하고 비교적 고속의 데이터 처리가 용이하며 신호가 거리의 증가에 따라 상당히 빨리 감소가 되므로 셀의 개념을 적용하면 동일 지역에 다중 LAN 의 공존이 가능하다는 점이다. 단점으로는 사용 범위가 스펙트럼 확산 방식에 비해 작다는 것이다. 이 방식이 사용할 수 있는 주파수는 5.725~5.825 GHz대에서 70 MHz 대폭 1 채널과 17.700~17.740 GHz와 19.260~19.300 GHz 대에서 10MHz 대폭으로 각 4 채널씩 8 채널이 있다. 표 2.1은 상기한 3가지 방식의 특징을 나타낸다.

2.2 국·내외 무선 LAN 환경과 발전 동향

2.4 GHz대역의 공중 무선 LAN에 대하여 국외 주요국의 정책은 사설 용도의 무선 LAN 서비스는 허용하고 공중 무선 LAN에 대해서는 전과간섭 등을 이유로 규제를 가하고 있다. 그러나, 점차 무선 LAN의 규제를 대폭 완화하고 있는 추세이다. 2.4 GHz대역은 ISM(Industrial, Scientific, Medical)대역에 해당되는 만큼, 별도의 규제가 불필요하다고 보는 것이 일반적이며, 미국과 일본이 그 대표적인 나라이다. 5 GHz대역에서의 해외 주요국의 정책 방향과 앞으로의 연구 대상으로서 그 필요성을 살펴보고자 한다.

2.2.1 미국

2.4 GHz(2450~2483.5 MHz)에 대해서 비허가 대역으로 분류하고, 비면허 무선기기용(Unlicensed NII/Supernet device) 개방하였다. 비허가 대역의 무선 LAN관련 대역은 2450~2483.5 MHz, 5.15~5.35 GHz, 5725~5835 MHz(NII/Supernet)이다.

[표2.2] 미국 무선LAN 서비스 제공현황

기업명	Aerzone	Airwave	Cerulic	Get2Net
서비스 특징	미국내 공항 중심	Wi-Fi card 판매, 서비스무 료제공, 수익 은 장소 제공 기업의 설비 랜트비로 충 당	PDA사용자 대 상의 VPN접속 서비스, IEEE802.11과 Bluetooth기술 로 인터넷 접속 서비스 제공	광고를 기반으로 하는 초고속 인 터넷 서비스
서비스 지역	미국내 21개 공항	샌프란시스코 만 지역의 식 당 등	공항, 호텔, 회 의장 등	미국전지역 공항

FCC. August 31, 2000

1999년 9월 LT(Lucent Technology)와 HS(Harris Semiconductor)
(현재 intesil)가 제안한 Wi-Fi(IEEE802.11b)가 IEEE의 승인을 받으면
서 무선 LAN서비스가 제공되고 있으며, FCC(FedCommunications
Commissio는 Qos와 전파 간섭에 관한 제약조건을 규정하고 있다. 현

재, Arezone, Airwave, Cerulic, Get2Net 등이 공항, 호텔, 회의장 등을 중심으로 무선 LAN 서비스를 제공 중이다. 비허가 대역 중 무선 LAN 관련 부분은 2450~2483.5 MHz, 5.15~5.35 GHz, 5725~5858 MHz(NII/Supernet)이다.

2.2.2 일본

2.4 GHz 대역은 비면허 소출력 무선기기용으로 개방되었으며, 2.4 GHz 역에 대해 공중 집속 데이터 통신용 주파수 대역을 추가로 규정하여 공중 무선 LAN의 이용활성화를 도모하고 있다. 5.3 GHz 무선LAN은 타시스템(기상 레이더, 지구탐사 위성 등)과의 간섭 문제로 옥내용으로 허용기로 2000년 10월에 결정하였다.

[표2.3] 일본의 2.4 GHz 대역의 주파수 분배 (단위: MHz)

ISM 대역				
(2497 MHz)				
	Mobile Identification	Object		Mobile Service Satellite
2400	2427	2471	2483.5	2500

일본의 무선LAN은 옥내 데이터 통신용으로 사무실, 공장 등에서 상용화되어 보급되어 왔지만, 옥외 초고속무선망 기술이 발전함에 따라 초고속인터넷 접속수단으로 급속히 활성화되는 추세이다. 일본

의 주요 HOT-SPOT서비스는 일본 항공, MIS(genuine), NTT
 Communincations(HI-FIBE) 등에서 상용화를 하고 있으며, 그 외
 여러 곳에서도 시험 서비스 중이다.

[표2.4] 일본의 2.4 GHz대역 주파수 기술 기준

구 분	기술 기준
지정주파수	2400~2483.5 MHz
채널수	-
주파수 편차	50
점유 주파수 대역 허용치	FH, FH-DS: 83.5 MHz, 기타: 26 MHz
스푸어리스 발사강도 허용치	2387~2496.5 MHz: 2.5 μ W 2387~2400 MHz : 2.5 μ W 2483.5~2496.5 MHz : 2.5 μ W
편차	+20%, -80%
확산 대역폭(90%)	$\geq$ 500 KHz
확산대역폭/변조 신호의 송신 속도	$\geq$ 5
Hopping 주파수 체류시간	$\leq$ 0.4 Sec
-	
기타	부차발사 1 GHz 미만: 4 nW, 1 GHz이상: 20 nW

자료:ETRI

2.2.3 국내

2.4 GHz 대역을 이용한 상업 용도의 무선 LAN 서비스가 제공되고 있다. 2.4 GHz 대의 무선 데이터통신 시스템용 기기는 무선국 허가 없이도 사용가능하다. 2.4 GHz 대역은 누구나 사용 가능하나, 전파 간섭과 중복 투자 등의 문제점을 갖고 있다. 정부는 WLL(Wire Local Loop)의 2.3 GHz대역을 무선랜으로 재활용 계획을 밝힌 바 있다. 2.3 GHz는 이동성, 배타적으로 QoS가 보장되는 장점이 있다.

[표2.5] 국내의 용도, 주파수, 전파 형식

용도	주파수	전파형식	비고
무선데이터 통신시스템용	2400 ~ 2483.5 MHz	F(G,D)1(2,7) C(D,E,F,W)	※ 2400~2410 MHz대 역의 주파수를 사용하 는 경우에는 2390~ 2400 MHz대역의 주파 수를 사용하는 무선설 비와 혼신 발생할 가 능성이 있으므로 사용 상 주의 필요함.
무선 LAN용	5725 ~ 5825 MHz		
무선 LAN용	1770.5~1771.5 1771.5~1772.5 1926.5~1927.5 1928.5~1929.5	F(G) 1D F(G) 2D	“당해 무선설비는 운 용 중 전파 혼신 가능 성이 있음” 문구 표시 할 것.

[표2.6] 국내 사업자별 망 구축 현황

구분	서비스 개시	서비스 지역	
KT	2002.2	72지역	- KT PDA를 통한 유.무선 통합 서비스제공 HOT SPOT AP 확대 구축(10만개)
하나로 통신	2002.2	100지역	- VOIP 전화 서비스 제공 - HOT-SPOT AP 확대 구축 (15,000개)
데이콤	2001.9	시범	시장 추이에 따라 탄력적 전용
SK 텔레콤	2001.12	시범	듀얼 모드(무선 LAN+CDMA) 서비스 제공
WBS	2001.12	시범	고속도로 휴게소 및 강남 지역 등 서비스 확대 예정
섬네트웍스	2001.19	시범	- 제주 지역만(관광 시스템 도입) - 회선 임대 틈새 시장 공략

2.3 무선 LAN에서의 필수 기술

2.3.1 OFDM 기술

1) OFDM 방식

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식은 여러 개의 반송파를 사용하는 다수 반송파 전송의 일종으로 반송파의 수 만큼 각 채널에서의 전송 주기가 증가하게 되므로 광대역 전송시에 나타나는 주파수 선택적 채널이 심볼간 간섭이 없는 주파수 선택적 비선택적 채널로 근사화 되기 때문에 간단한 단일탭 등화기로 보상이 가능하다. OFDM 신호의 등가 이산 시간 기저 대역 신호는 송신단에서는 IDFT, 수신단에서는 DFT를 수행한 결과와 같아서 IFFT와 FFT를 사용하여 고속 구현 가능하다. OFDM 시스템이 주파수 간격 Δ_f 를 갖는 N개의 부반송파로 이루어져 있다고 가정할 경우, 전체 대역폭은 $W = N \Delta_f$, 시간 영역에서의 유효심볼의 길이는 $T_f = 1/\Delta_f$ 로 된다. 이 때 k번째 부반송파에 실리는 주파수 영역이 값을 X_k 라 하면 송신단에서의 시간 영역 OFDM 심볼은 식(2.1)과 같다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi \frac{kt}{T_f}} \quad (2.1)$$

이 경우, 수신단에서의 기저대역 신호 $y(t)$ 는 식(2.2)와 같이 주어진다.

$$y(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} H_k X_k e^{j2\pi(\Delta_f k + \Delta)t} \quad (2.2)$$

여기서, H_k 는 k 번째 부반송파에서 무선채널의 전달 함수이며, Δ_f 는 주파수 오프셋을 나타낸다. ADC를 통하여 표본화된 수신 심볼의 m 번째 샘플은 식(2.3)과 같이 주어진다.

$$y(m) = y(t) \big|_{t=(m+\delta)T_s} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} H_k X_k e^{j2\pi \frac{(m+\delta)(k+\epsilon)}{N}} \quad (2.3)$$

여기서, δ 는 표본화 주기 $T_s = 1/(N\Delta_f)$ 에 대하여 정규화된 타이밍 오프셋을 나타내고, ϵ 은 Δ_f/Δ_F 로 부반송파 대역폭에 대하여 정규화된 주파수 오프셋값을 나타낸다.

(2) Cyclic Prefix

OFDM 심볼의 전송은 심볼 단위로 이루어지나, OFDM 심볼이 나중 경로 채널을 통해 전송되는 동안 이전 심볼에 의해 영향을 받게 된다. 이러한 OFDM 심볼간 간섭을 방지하기 위해 연속된 심볼 사이에 채널의 최대 지연확산 보다 긴 보호 구간(guard interval)을 삽

입한다. OFDM 심볼 주기는 실제 데이터가 전송되는 유효 심볼 주기와 보호구간의 합이 되며, 보호구간에는 부반송파의 지연에 의해 발생할 수 있는 직교성의 파괴를 방지하기 위해 유효 심볼 구간에서 마지막 구간의 신호를 복사하여 삽입하고, 이를 Cyclic prefix(CP)라 한다.

(3) 인접 채널간 간섭

OFDM 방식의 주파수 스펙트럼은 각 부반송파가 갖는 Sync 함수의 합으로 나타나기 때문에 인접 부반송파의 간격이 유효 심볼 주기의 역수의 정수배가 되면 직교성이 유지되지만, Sync 파형은 roll-off 특성이 좋지 못하여 인접 채널에 영향을 주는 인접 채널간 간섭(adjacent channel interference)을 발생시킨다. 인접 채널간 간섭을 감소시키기 위하여는 대역제한 필터를 사용하여 대역 밖의 스펙트럼을 제거시키거나, 시간영역에서 raised cosine과 같은 원도를 사용하여 대역 밖 스펙트럼의 크기를 감소시킨다. 이외에도 전송 대역의 양쪽 끝 부분의 부채널을 사용하지 않는 가상 반송파(virtual carrier)방식을 사용할 수 있다.

(4) 등화 및 채널 추정

Coherent 방식의 OFDM에서는 채널의 왜곡을 보상하기 위해 등화를 수행하여야 한다. OFDM방식에서는 각 부채널이 주파수 비선택적 페이딩 채널로 근사화 되므로 각 부채널에서는 각 부채널에서의 등화기는 단일 탭 형태가 되며, 이 때 채널 추정은 LS 또는

MMSE 추정기를 사용한다. OFDM방식에서의 채널 추정은 채널 추정에 사용하는 데이터의 종류에 따라 크게 파일럿 심볼 기반(PSA: pilot symbol aided) 채널 추정기법과 결정지향(DD: Decision Directed)채널추정 기법이 있다. PSA 기법은 고속 페이딩 채널에 적합하다.

DD기법은 검출 데이터를 이용하여 다음 심볼 주기의 채널을 추정하므로, 고정 또는 시간 상관성이 큰 저속 페이딩채널에 적합하다.

(5) 오류정정 부호

OFDM 방식을 사용함으로써 다중경로 채널에 의한 심볼간 간섭을 극복할 수 있으나, 특정 부채널의 감쇄가 심한 경우에는 수신 SNR이 낮아 그 부채널로 전송된 데이터의 오류확률이 증가하게 된다. 이러한 성능 저하를 방지하기 위해 OFDM방식에서는 전방오류정정(forward error correction)부호를 함께 사용하여 다중경로 채널의 페이딩 현상부호를 함께 사용하여 다중경로 채널의 페이딩 현상을 극복한다. 오류 정정 부호로는 Reed Solomon부호와 같은 블록부호(block code)와 컨볼루션부호(convolutional code)가 주로 사용되며, 대역폭 효율을 서로 다른 부호를 결합하여 사용하는 concatenated 부호, 터보 부호(turbo code)등을 사용할 수 있다. 또한, 연립오류(burst error)발생에 의한 오류 정정 성능 저하를 방지하기 위해 인터리빙(interleaving)을 함께 사용하며, 인터리빙의 종류와 크기는 사용하는 오류 정정 부호와 채널의 주파수와 시간의 페이딩 정도, 그리고 인터리빙에 따른 지연을 모두 고려해서 결정한다.

(6) 다중 액세스(Multiple Access)

방송용이 아닌 셀룰러 이동통신, 무선 ATM, 무선 LAN 등에 OFDM 전송방식을 사용하는 경우에는 단일 방송과 전송방식과 마찬가지로 다수의 사용자를 위한 다중 액세스 방식이 필요하다. 대표적인 방식으로는 OFDM-TDMA, OFDM-FDMA(OFDMA), OFDM-CDMA가 있다. OFDM-TDMA의 경우에는 N개의 부채널로 구성된 전체대역을 각 사용자가 할당된 시간동안 N개의 부채널을 모두 사용한다. OFDMA는 시간에 제한 받지 않고 전체 부채널을 사용자가 요구하는 트래픽에 따라 동적으로 할당한다. OFDM-CDMA는 각 사용자가 고유의 확산부호를 사용하여 모든 시간과 부채널을 이용하는데 확산방식에 따라 MC-CDMA, MC DS-CDMA, MT-CDMA로 구분할 수 있다. DS-CDMA는 송신데이터를 모든 부채널에 복사한 후, 확산부호를 사용하여 주파수 영역에서 확산시키는 방식으로 볼 수 있다. 따라서, DS-CDMA 방식은 시간 영역에서 다중경로에 의하여 수신되는 신호의 일부분만을 Rake 수신기를 사용하여 결합하는 반면, MC-CDMA 방식은 주파수 영역에 분포되어 있는 모든 수신 에너지를 결합하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나, MC-CDMA 방식은 직/병렬 변환된 데이터를 확산부호를 사용하여 시간영역에서 확산시키는 방식이며, 이 방식에서는 각 부채널마다 시간 영역으로의 확산이 이루어지므로, 확산 전 각 부채널의 스펙트럼은 직교성이 유지되나, 확산 후 부채널의 스펙트럼은 직교성을 만족시키지 못한다. 이와 같이 MT-CDMA 방식은 부채널간 조밀한 스펙트럼 오버랩을 갖기 때문에 대역폭 효율은 MC-CDMA에 비해

높으나, 부채널간 간섭 등의 영향으로 성능이 크게 열화되는 단점이 있다.

(7) OFDM 신호의 동기화

OFDM 방식은 다수의 직교 반송파를 사용하기 때문에 부반송파 사이의 직교성이 파괴되는 경우에는 채널간 간섭이 발생되어 비트 에러율이 크게 저하되는데, OFDM 방식에서 직교성이 파괴되는 원인은 크게 다음의 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 수신단에서 심볼 동기화 반송파 주파수 동기가 이루어지지 않은 경우이다. OFDM 시스템에서의 변, 복조는 IFFT와 FFT의 블록단위로 각각 이루어지기 때문에 심볼 동기는 OFDM 심볼의 시작점을 찾는 것을 의미한다. 반송파 주파수 오프셋이 발생하는 경우에는 부반송파의 직교성이 파괴되어 다른 모든 부반송파의 영향을 받게 되므로, 단일 반송파 방식에 비해 심각한 성능 저하를 초래한다. 이러한 OFDM 신호의 동기화를 위하여 응용분야에 따라 주파수 영역에서 파일럿 톤 또는 반복심볼을 이용하는 방식이나, 시간영역에서 CP 또는 훈련 심볼을 이용하는 방식 등이 사용되고 있다. 두 번째로 OFDM 방식에서 변조가 된 신호의 크기는 레일레이 분포를 가지므로 OFDM 심볼의 시간 영역 신호의 PAR(Peak-to-Average Ratio)이 단일반송파 방식의 경우에서 보다 크게 나타난다. 따라서, 고출력 증폭기를 달인 반송파 방식과 동일한 효율로 사용할 경우 비선형 왜곡 감쇄를 위하여 보호화 기법, 사전 왜곡 기법 등이 사용된다. 세 번째는 채널의 특성이 송·수신기의 상대적 이동으로 인해 OFDM 심볼주

기 내에서 변하는 경우이며, 이 때 수신단에서 각 부반송파의 직교성이 파괴되어 채널간 간섭이 발생하게 된다.

2.3.2 무선 LAN의 표준화 동향과 전파특성 파악의 중요성

IEEE802.11 위원회에서 2.4GHz대에서 2Mbps전송을 하는 RLAN 규격 완성 이후에 전송률 11Mbps로 고속화한 802.11b규격과 5GHz 대역에서 최대 54Mbps 전송률을 지원하는 802.11a 규격을 표준화했다. CSMA/CA기반의 MAC에서 Qos지원 강화를 위한 802.11e 규격과 2GHz 대역의 전송률을 고속화하기 위한 802.11g 규격이 제정 중이다. 이더넷 기반의 IEEE802.11과는 달리 HIPERLAN/2는 이더넷, IP, UM TS, ATM 등 여러 형태의 코어 네트워크 연결을 위한 CONVERGENCE LAYER를 갖는 것이 특징이다. 유럽에서는 ETSI BRAN에서 OFDM방식의 5GHz대 HIPERLAN/2를 표준화한 바 있다. 국내에서는 OFDM 변조방식의 IEEE802.11g의 제품의 사용을 위해서는 5GHz 대역에서의 새로운 주파수 할당, 기술기준의 개정이 요구된다. 현재는 DS, FH방식의 무선LAN 사용이 가능하므로 OFDM방식의 5GHz 대역에 있어서의 중요성을 제고해야 할 것이다. 이처럼 5GHz대역의 전파특성 연구 및 손실에 대한 경감 대책을 알아보는 것은 중요하다고 할 것이다.

제 3 장 무선 LAN 전파특성 해석기법

Ray Tracing 기법을 포함한 결정론적인 무선 전파 예측 Modeling 기법은 Micro Cell과 실내환경에서의 경로손실을 정확하게 예측 가능한 방법으로 이용되고 있다.

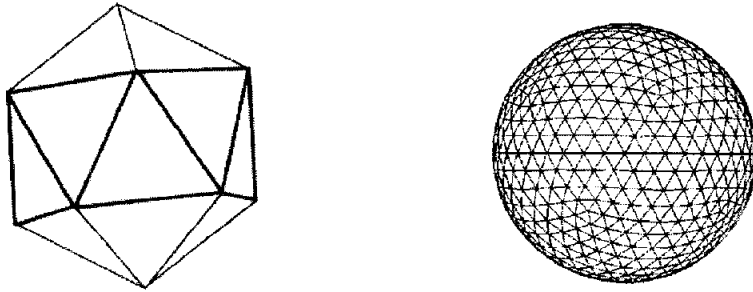
Ray Tracing 방법은 기존의 통계적 방법에 비해서 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, RMS delay Spread와 같은 무선 시스템을 설계하는 데 필요한 정확하고도 결정론적인 전파 모델을 만들어 낼 수 있다. 이 장에서는 원형 편파를 이용한 페이딩 감감 효과를 비교하기 위하여 구현한 시뮬레이터에서 이용된 3D Ray Tracing 방법에 대해서 설명하고 구현된 시뮬레이터의 결과와 실제 측정 결과를 비교한다.

3.1 3D Ray Tracing 알고리즘

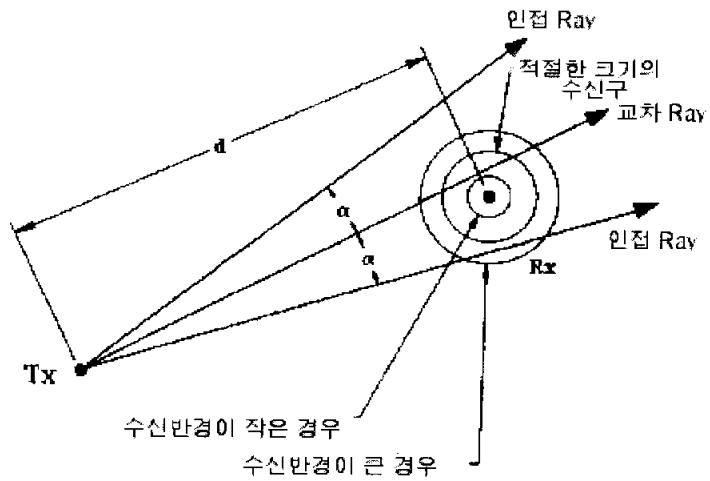
3.1.1 송신기와 수신기의 구현

3D Ray Tracing 방법에서 송신기는 모든 방향으로 균일하게 방사되는 형태를 구현하기 위해서 [그림 3.1]과 같이 송신기의 방사 형태를 단일 반지름을 가지는 원으로 구현한다. 그리고 송신기로부터 발사되는 Ray의 형태를 정다면체의 형태로 모델링한다. 이렇게 모델링된 구의 표면의 정다면체의 각 꼭지점을 통해 Ray를 발사함으로써 송신기로부터 발사되는 Ray는 모든 방향으로 균일하게 방사되는

형태가 된다[7][8].

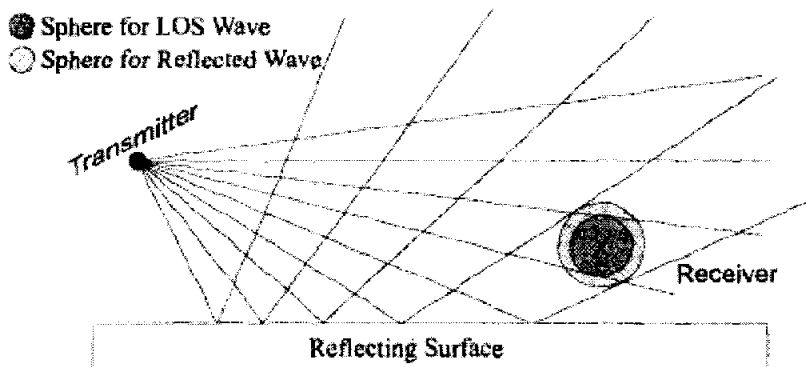


[그림 3.1] 정다면체로 구현한 원형 송신기 모델링



[그림 3.2] 수신 반경에 따른 수신구

3D Ray Tracing에서 수신기 역시 수신점 주위에 구의 형태로 모델링 된다. 수신구의 반경의 크기는 수신전 근처를 지나가는 단 하나의 Ray와 교차할 수 있도록 [그림 3-2]와 같이 적당한 크기로 결정하여야 한다. 만약 수신구의 반경이 너무 큰 경우는 수신되는 Ray의 인접 Ray 역시 수신되는 것으로 결정되고, 수신구의 반경이 너무 작은 경우는 수신기에 수신되는 Ray를 놓치게 된다. 송신기로부터 발사된 Ray들은 진행해 나가면서 퍼지기 때문에 수신구의 반경 역시[그림 3.3]과 같이 송신기로부터의 거리에 따라 변화하여야 한다. 수신구의 반경의 크기는 송신기에서 수신기까지의 거리와 Ray 간의 간격에 대한 함수로서 일반적으로 $\frac{a \cdot d}{\sqrt{3}}$ 으로 한다. 여기서 a는 인접 Ray간의 각도를 나타내며 d는 송신기에서 수신기까지의 거리를 나타낸다.



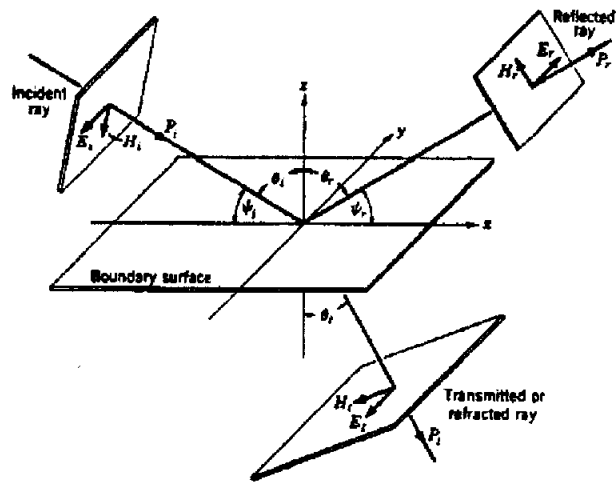
[그림 3.3] 가시거리와 반사된 Ray에 대한 수신구

3.1.2 벽면에 의한 반사 및 투과

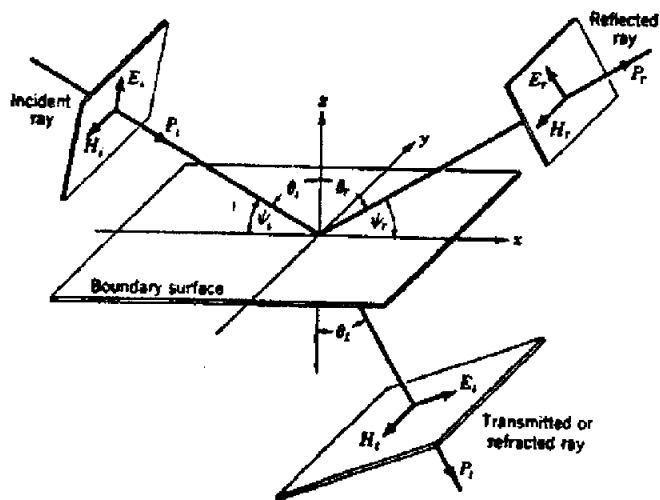
송신기로 발사된 Ray는 진행해나가면서 벽이나 다른 방해물에 의해 반사 혹은 투과하게 되고 일부분은 흡수된다. Ray와 만나는 벽면에 대해서는 아래의 3가지 Ray가 존재하게 된다.

- 벽면에 입사하는 Ray
- 벽면에 반사하는 Ray
- 벽면을 투과하는 Ray

[그림 3.4]와 [그림 3.5]는 수평편파와 수직 편파에 대한 Ray와 반사 Ray, 투과 Ray에 대해 나타내고 있다. 투과 Ray의 진행 방향은 입사면에 대한 입사 Ray의 각에 의해 결정된다.



[그림 3.4] 수평 편파의 반사 및 투과

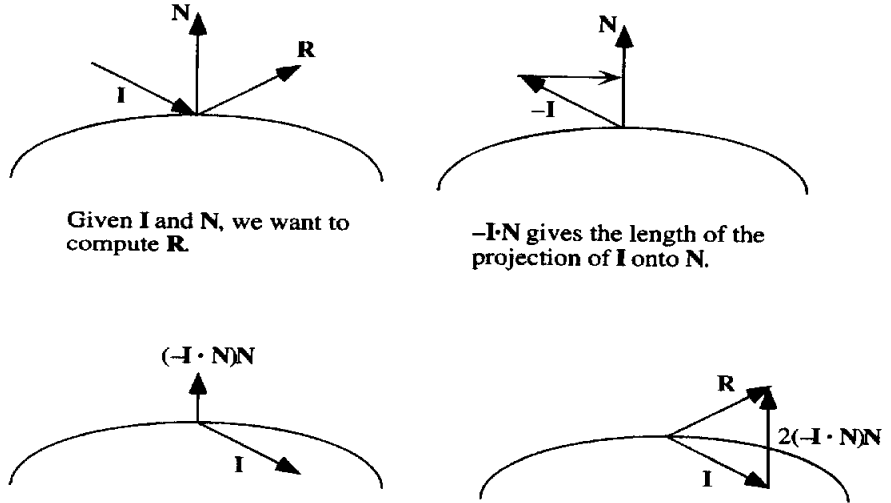


[그림 3.5] 수직 편파의 반사 및 투과

반사 Ray의 진행 방향은 [그림 3.6]에서 보는 바와 같이 Ray의 진행방향을 Vector적으로 해석하여 식(3-1)과 같이 나타내진다.

$$\vec{R} = 2(-\vec{I} \cdot \vec{N})\vec{N} + \vec{I} \quad (3-1)$$

여기서 $\vec{R}$ 는 반사된 Ray의 진행 방향의 단위 벡터를 나타내며 $\vec{I}$ 는 입사 Ray의 진행방향에 대한 단위 벡터이다. 그리고 $\vec{N}$ 은 Ray와 만나는 벽면의 수직 Vector이다. 반사된 Ray와 투과된 Ray의 진폭은 입사각과 반사면의 재질에 의해서 결정되어진다. 또한 반사된 Ray의 경우는 위상이 180° 변화하고, 투과된 Ray의 위상 변화는 없다고 가정한다.



[그림 3.6] 입사 Ray와 반사면에 따른 반사 Ray의 진행방향

수평편파와 수직편파에 대한 반사계수의 일반적인 식은 식(3-2)와 (3-3)과 같다.

$$R_h = \frac{E_{r,h}}{E_{i,h}} = \frac{\sin \psi - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}} \quad (3-2)$$

$$R_v = \frac{E_{r,v}}{E_{i,v}} = \frac{\epsilon \sin \psi - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}}{\epsilon \sin \psi + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}} \quad (3-3)$$

여기서 ψ 는 입사각이고, ϵ 은 복소 유전율로서 다음과 같이 나타내진다.

위의 식에서 ϵ_r 은 유전율 상수이고 σ 는 도전율, λ 는 파장을 나타

낸다.

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (3-4)$$

위의 식에서 ε_r 은 유전율 상수이고 σ 는 도전율, λ 는 파장을 나타낸다.

투과계수는 반사계수와 벽을 통과로 인한 감쇠로 결정되어 진다. 두꺼운 콘크리트 벽의 경우 투과 손실이 상당히 큰 반면 유리벽의 경우는 투과 손실이 1dB 정도로 적은 편이다. 비가시 거리의 실내 무선 통신의 경우 벽을 통과하는 투과파가 수신신호의 중요한 성분이 될 수 있다. 실내 무선 통신 채널에서 투과 계수에 대해서는 다음과 같이 간략화 된 세 가지 모델을 이용한다. 이 세 가지 모델은 벽에 대한 정확한 표현보다는 투과 계수에 대한 간략화로 표현한다.

첫 번째 모델은 벽 자체에 의한 손실이 없다고 가정한다. 즉 모든 에너지가 반사되거나 투과된다고 가정하는 것이다. 이 때의 투과 계수 식은 식(3-5)과 같이 표현되어 진다.

$$T_{(h,v)} = \sqrt{1 + R_{(h,v)}^2} \quad (3-5)$$

이 모델은 시스템의 전체 전력이 보존된다는 사실로부터 유도된 것이지만 이 식은 정확하지 않다. 두 번째 모델은 모든 물질은 손실을 가지고 있으며, 벽의 첫 번째 층과 두 번째 층에 의한 손실을 포

함한 것으로 간단한 Slab 모델로 볼 수 있다. 이 모델에 대한 투과 계수에 대한 식은 식(3-6)으로 표현된다.

$$T_{(h,v)} = \sqrt{(1-R_{1,(h,v)}^2)(1-R_{2,(h,v)}^2)} \quad (3-6)$$

여기서 R_1 과 R_2 는 벽면의 경계에서의 반사계수를 나타낸다. 이 모델은 벽면의 두께와 벽면의 뒤 층에서 반사되어 오는 에너지의 양을 계산해야 하기 때문에 이용하기가 용이하지 않다.

세 번째 모델은 벽면을 통과하면서 3 dB의 손실이 있다고 가정하는 모델이다. 이러한 모델에 대한 반사계수 식은 식(4-7)과 같이 나타내어진다.

$$T_{(h,v)} = \sqrt{0.5 (1-R_{(h,v)}^2)} \quad (3-7)$$

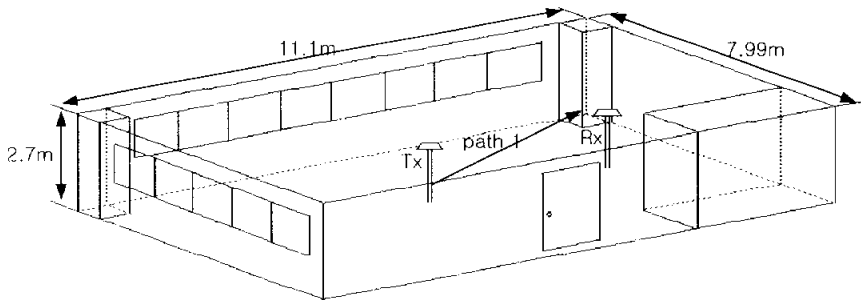
3.2 시뮬레이터와 측정 결과의 비교

이번 절에서는 3D Ray Tracing 기법을 이용하여 구현 시뮬레이터의 결과를 실제 실내 무선 환경에 측정된 수직, 수평, 원형 편파에 대한 측정결과와 비교하여 시뮬레이터의 결과를 검증하여 본다.

본 논문에서는 3D Ray Tracing 기법을 이용한 시뮬레이터 구현을 구현하기 객체 지향 언어인 C++을 이용하여 Ray와 송신기, 벽면 등

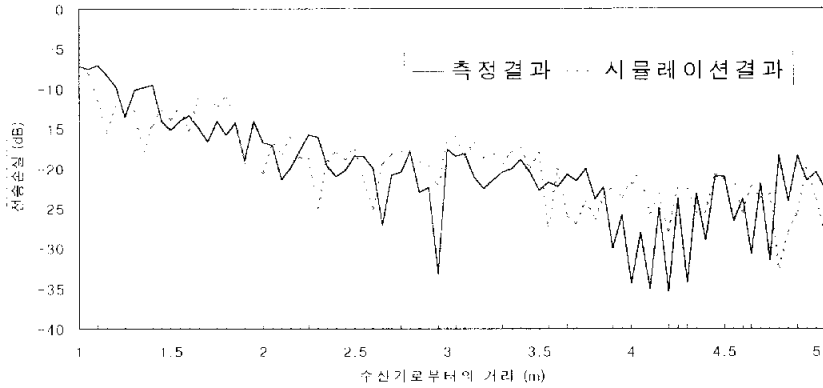
을 객체화하여 MS Windows 환경에서 구현하였다. 그리고 GUI (Graphic User Interface)를 구성하기 위해서 Borland C++ Builder 5를 이용하여 사용자가 Ray의 개수를 비롯한 시뮬레이션 환경 등을 설정할 수 있도록 하였다.

시뮬레이션 환경은 [그림 3.6]과 같이 측정 환경과 동일한 11.1m × 7.99m × 2.7 m 실내에 대해서 시뮬레이션 하였다. 사용 주파수는 1.3 GHz이며 모든 벽면과 천장은 콘크리트 벽면으로 가정하고 도전율(σ) 1.0, 상대 유전율(ϵ_r)은 10으로 가정하였다[9].



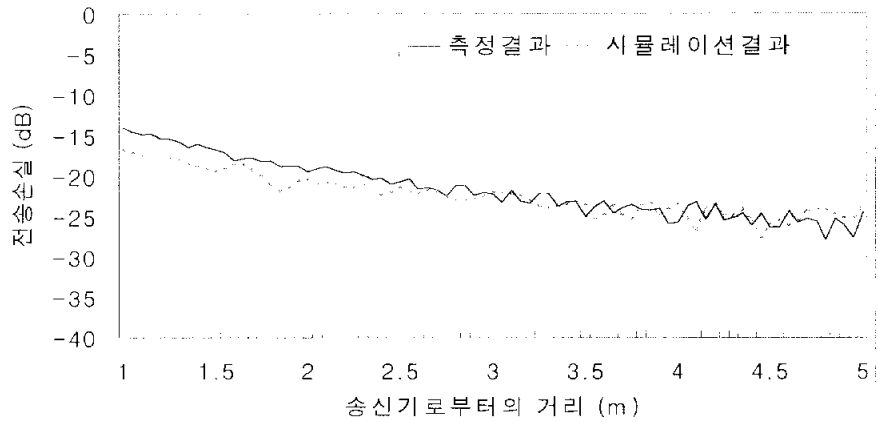
[그림 3.7] 시뮬레이션 및 측정 환경

측정 결과와 비교하기 위해서 [그림 3.7]과 같은 환경에서 수직 편파와 원형 편파에 대해서 각각 시뮬레이션 하였다. 송신기의 위치는 실내의 중앙에 2 m 높이에 위치시키고 수신기의 높이는 1.5 m로 하고 송신기로부터 1m 떨어진 지점부터 직선으로 0.05 m 씩 이동시키도록 시뮬레이션한 결과를 실제 측정 결과와 비교하였다.



[그림 3.8] 수직 편파에 대한 측정 결과 및 시뮬레이션 결과

[그림 3.8]은 수직 편파에 대한 측정결과 및 시뮬레이션 결과로서 시뮬레이션에 쓰인 Ray의 개수는 10,000개로 설정하고 6회 반사까지 추적할 수 있도록 하였다. 수직 편파에 대한 시뮬레이션과 측정 결과와의 오차는 평균 2.84 dB 정도이며 최대 오차는 7.42 정도로 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다



[그림 3.9] 원형 편파에 대한 측정 결과 및 시뮬레이션 결과

[그림 3.9]은 원형 편파에 대한 측정결과 및 시뮬레이션 결과로서 마찬가지로 Ray의 개수는 10,000개로 하고 반사는 6회까지 추적하였다. 원형 편파에 대한 시뮬레이션 결과 측정결과의 평균오차는 1.5 dB 정도이며, 평균 오차는 5.4 dB 정도로 역시 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

제 4 장 실내 무선 무선전파 환경에서의 시뮬레이션 및 평가

4.1 2.4 GHz대역의 전파특성

본 장에서는 실제 실내 무선 통신 서비스에 이용되고 있는 2.4 GHz에 대한 가시 거리 환경 및 비 가시 거리 환경에 대해서 수직, 수평 편파 및 원형 편파에 대한 페이딩 경감효과를 비교하고 페이딩 경감 방법 중에 하나인 수직·수평 편파 다이버시티 방법과 원형 편파를 이용한 방법을 비교한다. 또한 실내 무선 환경에서의 데이터 전송 서비스를 고려하여 DS-CDMA 방식을 이용하여 수직, 수평, 원형 편파와 편파 다이버시티의 페이딩 채널 환경에 대한 가우시안 노이즈를 고려한 SNR에 따른 BER 개선도를 비교하여 본다.

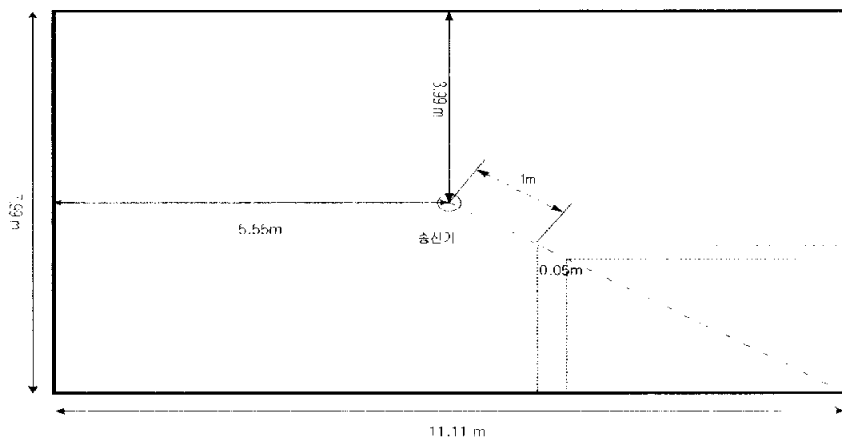
4.1.1 가시 거리 환경 시뮬레이션 결과

장애물이 없는 가시 거리 환경에서는 다중 경로 성분이 벽면과 천장 바닥에 의한 반사파로 이루어진다. 때문에 가시 거리 환경에서는 기수번의 반사파에 대해서는 수신되지 않는 원형 편파의 경우 수직 편파나 수평 편파에 비해서 상당한 페이딩 경감효과를 기대할 수 있다.

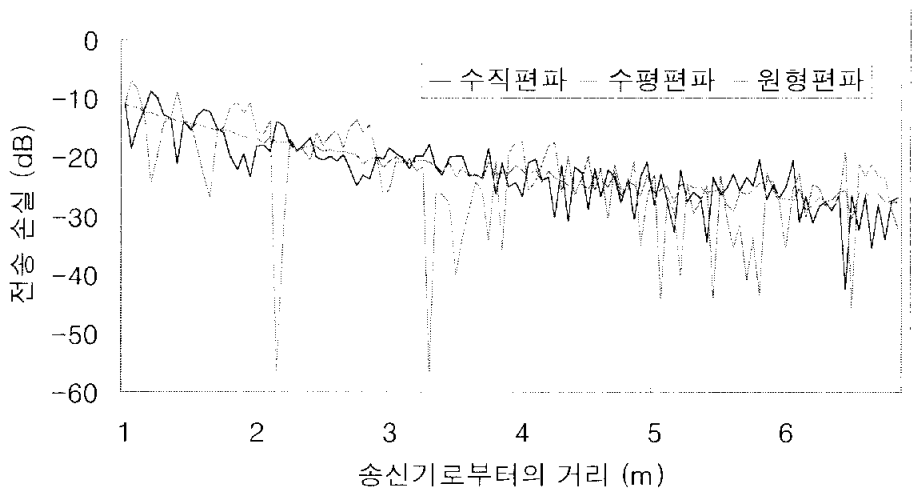
1) 페이딩 경감 효과

시뮬레이터에서 구현한 환경은 [그림 4.1]과 같은 환경으로 구성하

고 사용 주파수는 2.4 GHz, 송신기의 위치를 실내의 중앙에 바닥으로부터 2m 높이에 두고 송신기로부터 대각선으로 1m 떨어진 지점부터 대각선 방향으로 0.05m의 간격으로 수신기의 위치를 변화하였다. Ray 개수는 14,400개로 설정하였다.

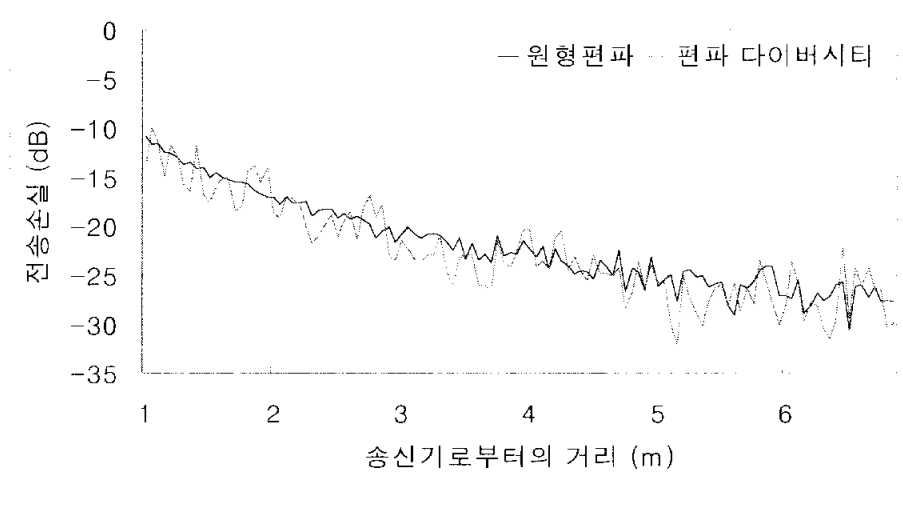


[그림 4.1] 가시거리 환경 시뮬레이션 구현 환경



[그림 4.2] 가시 거리 환경에서의 편파에 따른 페이딩 특성

시뮬레이션 결과 가시 거리 환경에서는 수직이나 수평 편파를 단독으로 사용하였을 경우보다 원형 편파를 이용한 경우 다른 편파에 비해 상당한 페이딩 경감 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.



[그림 4.3] 가시 거리 환경에서의 원형편파와 편파다이버시티의
페이딩 특성

[그림 4.3]는 실내 무선 환경에서 페이딩 경감을 위한 방법으로 사용되는 방법 중에서 수직·수평 편파 다이버시티를 이용한 경우와 원형 편파를 이용한 경우의 페이딩 특성을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과 가시거리 무선 환경에서 원형편파를 이용한 페이딩 경감효과가 수직·수평 편파 다이버시티를 이용한 경우보다 페이딩 경감효과가 큼을 알 수 있다.

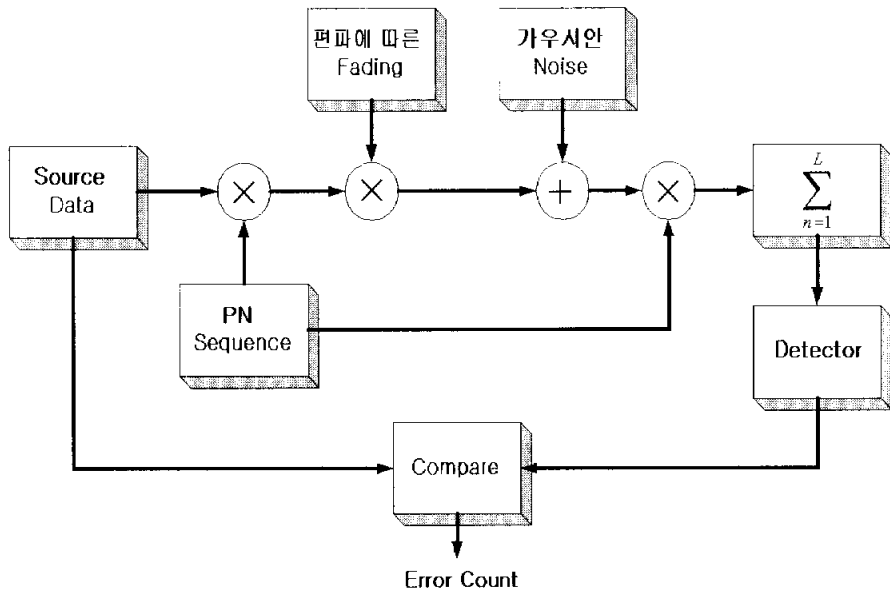
[표 4.1] 가시거리 환경에 대한 페이딩 특성

	수직편파	수평편파	원형편파	편파 다이버시티
평균손실 (dB)	-22.5	-23.9	-21.8	-22.6
표준편차	5.70	9.07	4.61	4.98

[표 4.1]은 가시 거리 환경에서의 수직, 수평, 원형편파와 수직·수평 편파 다이버시티를 이용한 경우의 페이딩 특성을 비교한 것이다.

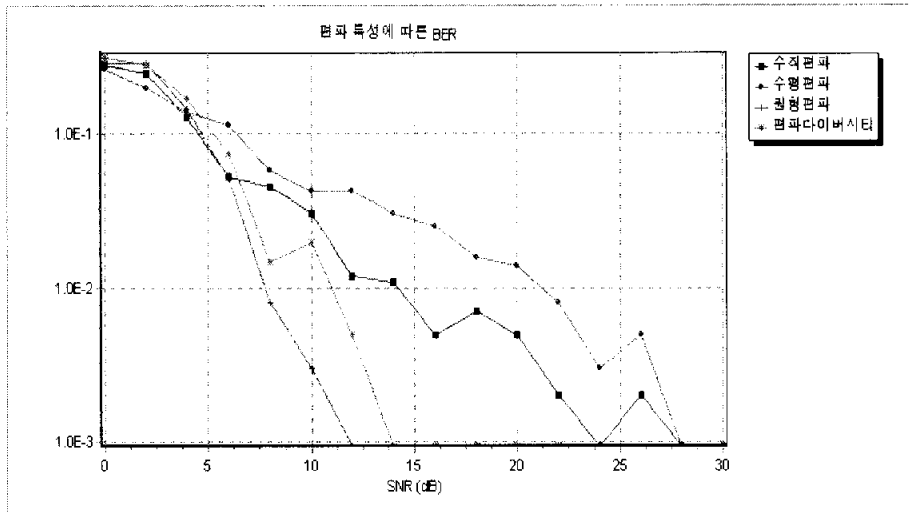
2) BER 개선도

각 편파에 따른 페이딩 경감효과를 비교하기 위해 [그림 4.4]와 같이 DS CDMA 시스템을 구성하여 Monte Carlo 방법으로 각 편파에 따른 페이딩 환경과 가우시안 노이즈 환경을 고려하여 시뮬레이션 하였다. 이 때, DS-CDMA의 PN code의 chip 길이(L_c)는 20으로 하고 균일 변수(Uniform Random Variable)를 발생시켜 사용하였다. 그리고, Source 데이터는 +1,-1이 균일하게 임의적으로 발생시켜, 발생한 Source 데이터들을 생성된 PN code와 곱한 뒤, 각 편파에 따른 페이딩 채널을 통과시킨 다음 AWGN을 더하였다. 그리고 수신된 신호 검출기를 통과시켜 +1,-1을 판별한 다음 원래 송신된 Source 데이터와 비교하였다.



[그림 4.4] 각 페이딩 환경에서의 DS-SSM BER 성능 시뮬레이션 블록도

[그림 4.5]는 가시 거리 환경에서의 수직편파, 수평편파, 원형편파와 편파 다이버시티 페이딩 채널 환경에서의 DS-SSM 시스템의 BER 개선도를 도시한 것이다. [그림 4.5]에서 보는 바와 같이 원형 편파 단독으로 이용하는 경우가 수직·수평 편파 다이버시티를 이용하는 경우에 비해 10^{-2} BER에서 2 dB 이상의 SNR 개선도를 보이며 수직 편파 단독으로 이용하는 경우에 비해서는 10^{-2} BER에서 5 dB 이상의 SNR 개선도를 보이고 있다.



[그림 4.5] 가시 거리 환경에서의 BER 개선도

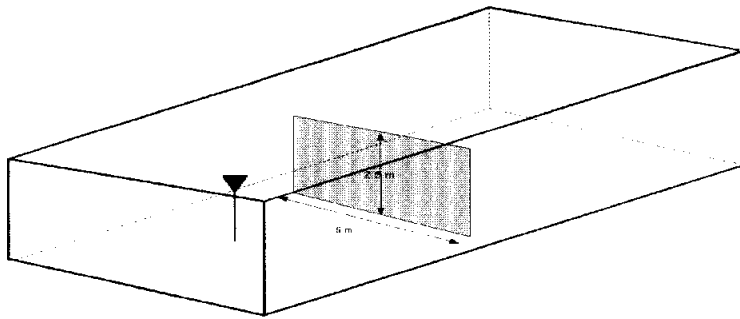
따라서 가시 거리 환경에서 DS CDMA를 이용한 실내 무선 통신에서는 수직이나 수평 편파를 단독으로 이용하는 경우에 비해 원형 편파를 이용하는 것이 초고속 실내 무선 통신이 용이함을 알 수 있다.

4.1.2 비가시 거리 환경 시뮬레이션 결과

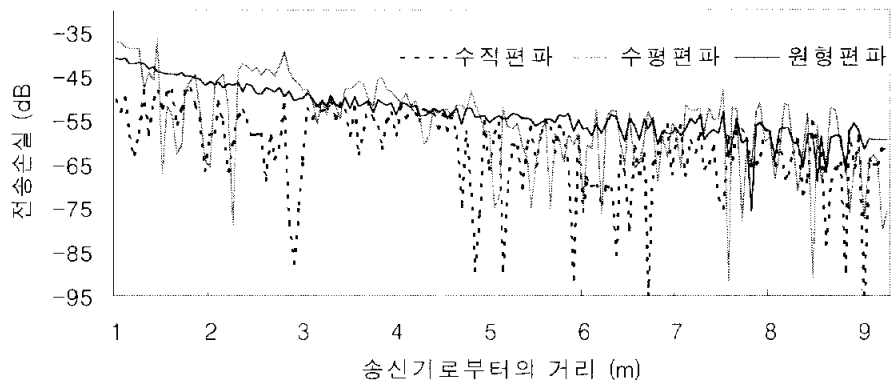
비가시 거리 환경에 대한 시뮬레이션은 두 가지 경우에 대해서 행하였다. 우선 송신기와 수신기 사이에 장애물이 있는 경우와 다른 한 가지는 송신기와 수신기 사이에 완전히 벽으로 차단된 경우에 대해서 시뮬레이션 하였다.

1) 페이딩 경감 효과

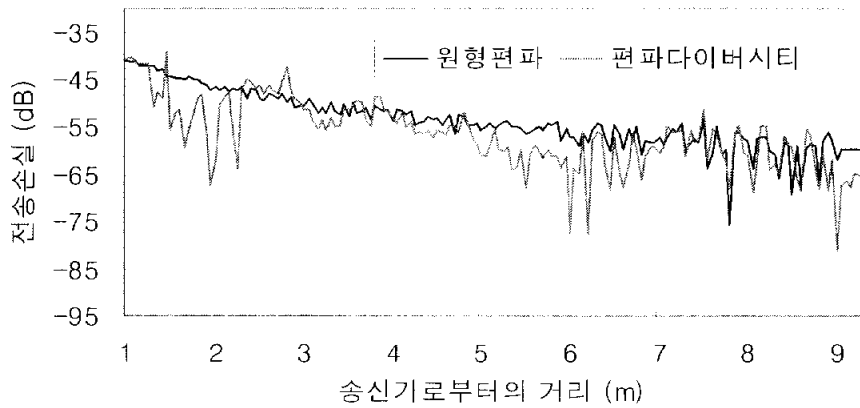
시뮬레이션을 위한 실내의 전파 환경은 가시 거리와 같이 [그림 5.6]과 같은 환경을 구축하고 송신기의 위치를 벽면으로부터 2.78 m에 위치시키고 송신기와 수신기 사이인 5 m 지점에 폭 6m 높이 2.5m의 장애물을 위치시키고 장애물의 도전율 및 유전율은 벽면과 같은 값으로 설정하였다. [그림 4.7]은 이러한 환경에서의 수직, 수평, 원형편파에 대한 페이딩 채널 예측 시뮬레이션 결과이며, [그림 4.8]은 원형 편파와 수직·수평 다이버시티를 행한 경우를 비교한 것이다. [표 4.2]는 비가시거리 환경(1)에 대한 페이딩 특성을 비교한 것이다.



[그림 4.6] 비가시거리 환경 (1)



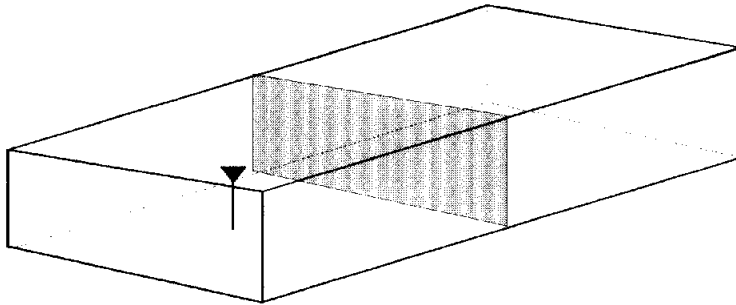
[그림 4.7] 비가시거리 환경(1)에 대한 편파에 따른 페이딩 특성



[그림 4.8] 비가시거리 환경(1)에 대한 원형편파와 편파다이버시티의 페이딩 특성

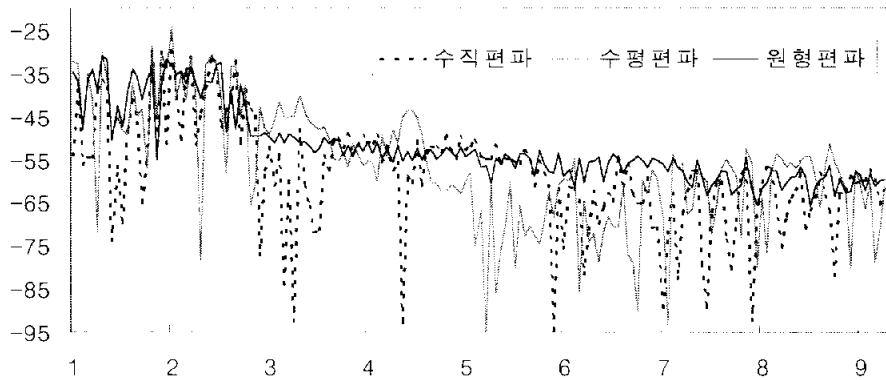
[표 4.2] 비가시거리 환경 (1)에 대한 페이딩 특성

	수직편파	수평편파	원형편파	편파 다이버시티
평균손실 (dB)	-58.2	-55.6	-51.2	-54.5
표준편차	12.7	13.9	8.47	9.60



[그림4.9] 비가시거리 환경 (2)

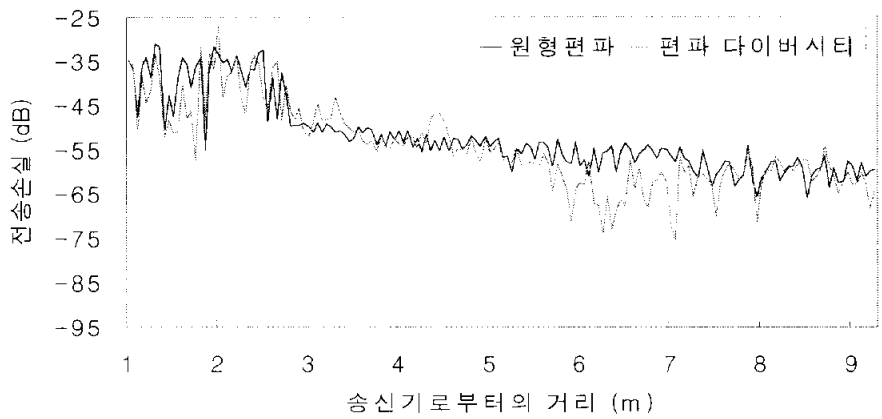
비가시 거리 환경 두 번째는 마찬가지로 [그림 4.9]과 같은 실내 환경에서 송신기와 수신기 사이에 완전한 벽으로 막힌 경우를 구현하였다. 벽면의 위치는 앞선 환경과 마찬가지로 5 m 지점에 위치시키고 송신기의 위치는 2.78 m 지점에 위치 시켰다.



[그림 4.10] 비가시 거리환경 (2)의 편파에 따른 페이딩 특성

[그림 4.10]은 비가시 거리 환경 (2)에 대한 수직, 수평, 원형 편파에 따른 페이딩 예측 시뮬레이션 결과이며, [그림 4.11]은 비가시 거리환경(2)에서의 원형 편파와 편파 다이버시티를 비교한 그림이다. 또한, [표 4.3]은 비가시 거리환경(2)에서의 페이딩 특성을 비교한 것이다.

비가시 거리환경(1)과 비가시 거리환경(2)의 시뮬레이션 결과 비가시 환경이 되면서 수직, 수평편파는 물론 원형 편파 역시 페이딩이 심해짐을 알 수 있다. 하지만, 비가시 거리 환경에서도 원형편파가 수직, 수평편파에 비해 상당한 페이딩 경감효과가 있으며 편파 다이버시티보다도 우수한 페이딩 경감 효과를 보이고 있다.



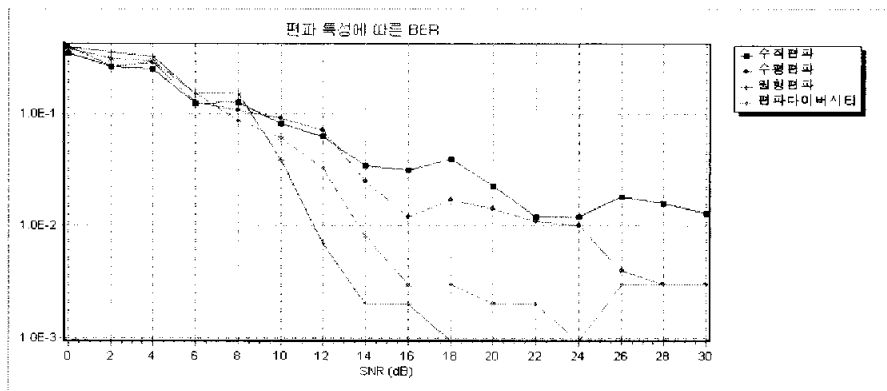
[그림 4.11] 비가시 거리환경(2)에서의 원형편파와 편파 다이버시티의 페이딩 특성

[표 4.3] 비가시 거리 환경(2)에 대한 페이딩 특성

	수직편파	수평편파	원형편파	편파 다이버시티
평균손실 (dB)	-61.8	55.8	53.6	56.5
표준편차	9.63	10.2	5.8	7.31

2) BER 개선도

가시거리 환경에서 마찬가지로 DS-CDMA 시스템을 구성한 다음 Monte Carlo 방법을 이용하여 각 편파 및 편파 다이버시티를 이용한 페이딩 환경에서 가우시안 잡음 환경을 고려하여 SNR에 따른 BER 개선도를 비교하였다.

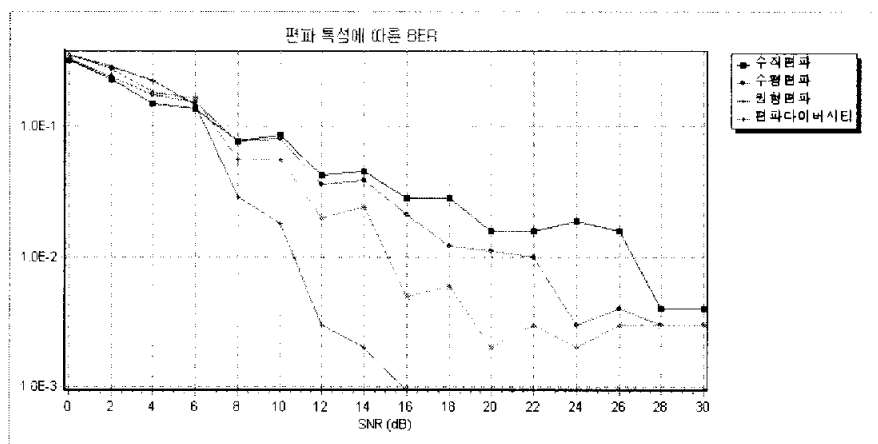


[그림 4.12] 비가시 거리환경(1)에서의 BER 개선도

[그림 4.12]는 비가시 거리환경(1)에서의 각 편파에 따른 페이딩 채널과 편파 다이버시티를 이용한 경우의 BER 개선도를 비교한 것이고, [그림 4.13]은 비가시 거리환경(2)에 대한 BER 개선도를 나타낸 것이다.

[그림 4.12]에서 보는 바와 같이 비가시 거리환경(1)에서는 BER 10^{-2} 에서 원형편파를 이용한 경우가 편파 다이버시티를 이용한 경

우에 비해서 2 dB이상의 개선도를 보이고 있으며,



[그림 4.13] 비가시 거리환경 (2)에서의 BER 개선도

[그림 4.13]에서도 역시 비가시 거리환경(2)에서는 원형편파를 이용한 경우가 다른 편파나 편파 다이버시티를 이용한 경우와 비교하여 BER 개선도가 훨씬 뛰어남을 알 수 있다.

4.2 5 GHz대역의 전파특성

본 장에서는 실제 실내 무선 통신 서비스에 이용되고 있는 5.7 GHz에 대한 가시 거리 환경 및 비 가시 거리 환경에 대해서 수직, 수평 편파 및 원형 편파에 대한 페이딩 경감효과를 비교하고 페이딩 경감 방법 중에 하나인 수직·수평 편파 다이버시티 방법과 원형 편파를 이용한 방법을 비교한다.

4.2.1 가시 거리 환경 시뮬레이션 결과

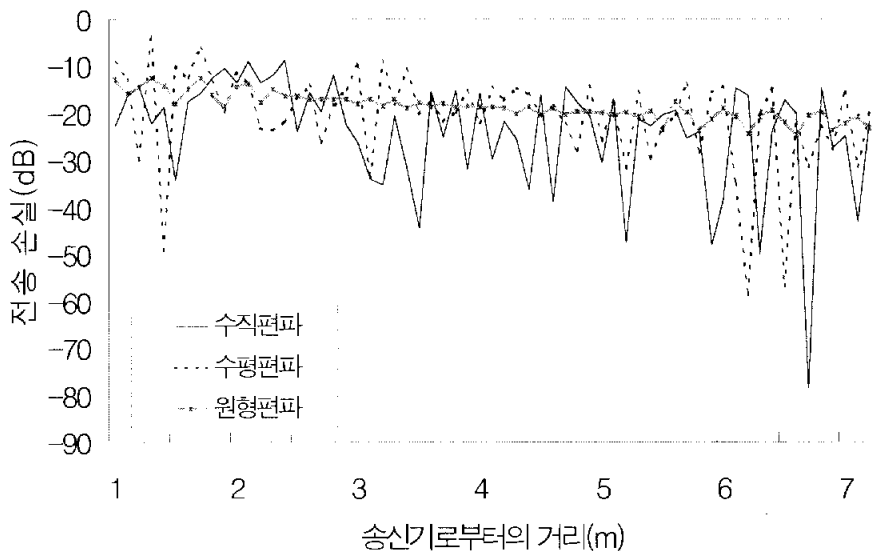


그림 14. LOS 환경에서의 편파에 따른 페이딩 경감특성

그림 14로부터, 가시거리 환경에서 수직이나 수평 편파를 단독으로

사용하였을 경우보다 원형 편파를 이용하 경우 다른 편파에 비해 상당한 페이딩 경감 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

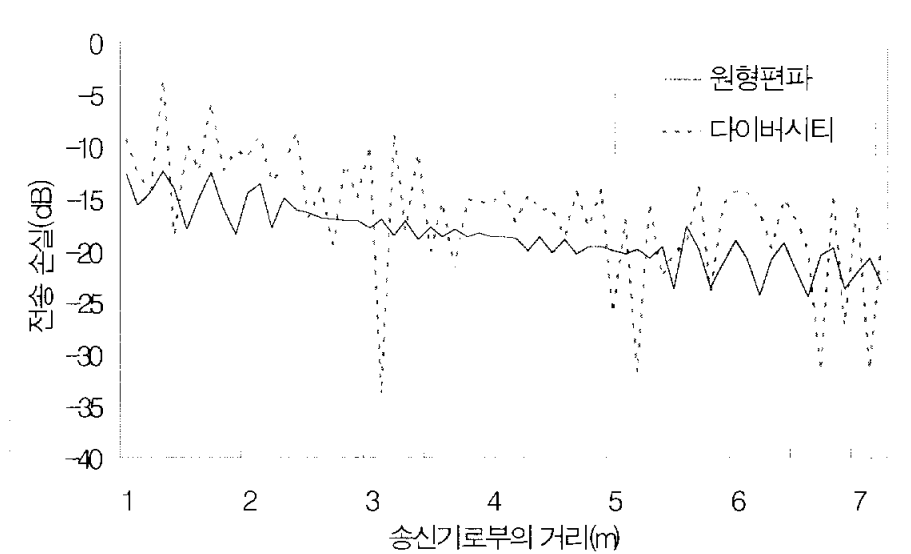


그림 15. LOS에서의 원형편파와 편파다이버시티의 페이딩 경감효과

그림 15는 옥내 LOS 무선 환경에서 페이딩 경감방법으로 사용되는 수직, 수평 편파 다이버시티를 이용한 경우와 원형 편파를 이용한 경우의 페이딩 특성을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과 가시거리 옥내 무선 환경에서 원형편파를 이용한 페이딩 경감효과가 수직, 수평 편파 다이버시티를 이용한 경우보다 페이딩 경감효과가 큼을 알 수 있다.

4.2.2 비가시 거리 환경 시뮬레이션 결과

비가시 거리 환경에 대한 시뮬레이션은 우선 송신기와 수신기 사이에 유동적인 장애물이 있는 경우, 그리고 송신기와 수신기 사이에 완전히 벽으로 차단된 경우 두가지로 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션을 위한 옥내의 전파 환경은 가시 거리와 같이 그림 4.6과 그림 4.9와 같은 환경을 구축하고 송신기의 위치를 벽면으로부터 2.78 m에 위치시키고 송신기와 수신기 사이인 5 m 지점에 폭 6m 높이 2.5m의 장애물을 위치시키고 장애물의 도전을 및 유전율은 벽면과 같은 값으로 설정하였다.

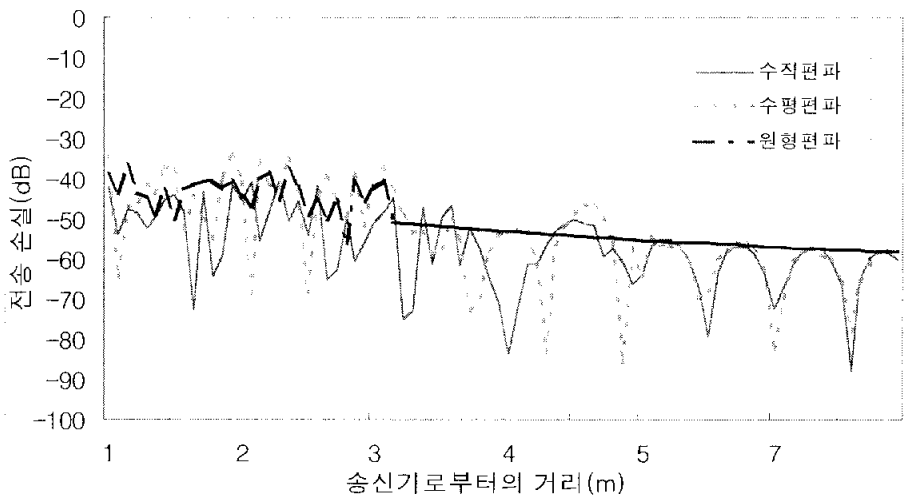


그림 16. 비가시거리 환경에 대한 원형편파와 편파 다이버시티의 페이딩 경감효과

그림 15는 이러한 환경에서의 수직, 수평, 원형편파에 대한 페이딩 채널 예측 시뮬레이션 결과이며, 그림 16은 원형 편파와 수직·수평 다이버시티를 비교한 것이다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 실내 무선 LAN 통신에서 다중 경로 성분에 의한 페이딩을 경감시키기 위하여 원형편파를 이용하는 방법을 제시하였다. 3D Ray Tracing 기법을 이용한 실내 무선 환경 예측 시뮬레이터를 이용하여 실내 무선 환경에 대한 수직, 수평, 원형 편파를 이용한 경우와 수직·수평 편파 다이버시티를 이용하여 페이딩을 경감시킨 경우를 비교하였다.

시뮬레이션 결과로부터 가시거리와 비가시 거리 모두 원형 편파를 이용할 경우와 수직·수평 편파 단독으로 이용하는 경우와 편파 다이버시티를 이용한 경우에 비해서 상당한 페이딩 경감효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 각 페이딩 환경에 따른 DS-CDMA 시스템의 SNR에 따른 BER의 시뮬레이션 결과로부터 초고속 실내 무선 통신 서비스를 위해서는 수직이나 수평 편파 보다는 원형 편파를 이용하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

차후 연구 과제로는 좀더 다양한 비가시 거리 환경에 대한 시뮬레이션, 원형 편파로 송신하고 수직·수평 편파로 수신하는 원형 편파와 편파 다이버시티를 결합한 경우의 페이딩 경감효과 특성 및 실제 실험에 대한 연구가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Deock Ho Ha, Chang Young Kim, In Chul Ha, "The Development of Signal Strength Simulator Based on Algorithm Selection in Indoor Radio Environments," *SK Telecom Review Vol.10, No.6*, pp. 1330~1345, 2000.
- [2] A. Kajiwara, "On a Circular Polarization Wave Transmission in LOS Indoor Radio Channels," *IEEE PIMRC '94*, pp.156~159, 1994.
- [3] G. A. Kalivas, "Millimeter-Wave Channel Measurement with Space Diversity for Indoor Wireless Communications," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, pp. 494~503, 1995.
- [4] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, PrenticeHall Inc., New Jersey, 1996.
- [5] 김병옥, 이주현, 윤영석, 하덕호, "실내무선 환경에서의 편파 나 이비시티 최적구성에 관한 연구," '98 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp. 473~476, May 1998, 서울대학교.
- [6] 이주현, 전성우, 하덕호, "실내전파 환경에서의 원편파와 45도 편파 특성 해석," '97 추계 합동 학술 논문발표회 논문집, pp. 227~231, December 1997, 경남대학교.
- [7] T. S. Rappaport, "An Advanced 3D Ray Launching Method for Wireless Propagation Prediction," *IEEE 47th Vehicular Technology Conference*, pp. 785~789, 1997.

- [8] S. Y. Seidel, "Site Specific Propagation Prediction for Wireless In-Building Personal Communication System Design," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, pp.879~891, 1994.
- [9] K. Pahlavan, *Wireless Information Networks*, John Wiley & Sons, INC, New York, 1997.
- [10] N. Wilt, *Object-Oriented Ray Tracing*, John Wiley & Sons, INC, New York, 1994.
- [11] J. G. Proakis, *Contemporary Communication Systems*, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
- [12] M. Kalkan, "Prediction of the Space-Frequency Correlation Function for Base Diversity Reception," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, pp.176~184, 1997.
- [13] G. E. Corazza, "Performance Evaluation of Space Diversity in Indoor Communications Using a Ray-Tracing," *IEEE PIMRC'95*, pp.408~413, 1995.
- [14] W. A. McGladdery, "Investigation of Polarization Effect in Indoor Radio Propagation," *IEEE ICWC '92*, pp.53~56, 1992.
- [15] 조용수, 무선멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초, 대영사, 2001.

감사의 글

학교보다는 직장이 우선일지 모르지만 직장은 바꿀 수 있어도 학교는 평생을 함께하는 것이라고 봅니다. 이 소중한 만남들을 영원히 잊지 못할 것입니다. 힘에 겨워 이 논문을 포기하고 싶을 때 나의 모든 짐을 들 수 있도록 자상한 관심과 배려로 끝까지 지도해주신 하덕호 지도교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다. 항상 곁에서 같이 책장을 넘기며 호흡을 같이 나누던 동기생, 선배, 후배님들에게도 감사를 드립니다. 그 동안 심사를 통해 논문을 다듬어 주신 윤종락 교수님, 장주석 교수님께도 감사를 드립니다. 그리고, 무엇보다 이 논문을 완성하기까지 바쁜 박사학위 논문 준비 중인 가운데에서도 기꺼이 모든 것을 배풀어 주고 가르침을 준 이주현선생과 고연화선생에게 이 지면을 빌어 감사를 드립니다. 그리고, 안재성씨를 비롯한 이동통신 연구실 모든 분들에게도 감사를 드립니다. 2년여 동안 주옥같은 강의를 해주신 정신일 교수님, 윤종락교수님, 김석태교수님, 김성운교수님, 정연호교수님, 하덕호 교수님께 감사드립니다. 직장 동료 여러분의 배려에도 깊은 감사를 드립니다. 오늘이 있기까지 말없이 참고 뒷바라지해준 아내 박계월과 사랑스런 딸 영성이, 아들 영함이와 함께 이 기쁨을 함께하고 싶습니다. 늘 건강을 염려하고 격려해 주신 어머님께 이 영광을 돌립니다.

2003년 7월

권상룡 드림