

# 4세대 무선통신을 위한 OFDM 전송기술의 성능분석

김 재 각<sup>†</sup> · 전 문 석<sup>††</sup>

## 요 약

무선, 컴퓨터와 인터넷 기술이 결합된 무선 인터넷 서비스는 급속히 확대될 것으로 전망되며, 이에 따라 음성은 물론 멀티미디어 통신 까지 지원하는 고속의 전송기술이 요구되어지고 있다. 그러나 현재 사용하고 있는 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 전송방식은 전송속도의 제한 때문에 미래의 무선 환경하에서 충분치 않을 것으로 보인다. 본 논문에서는 차세대 전송기술로 부각되고 있는 고속의 무선 데이터 전송을 위한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송기술에 대해 고찰해 보고, 동일한 환경하에서 DSSS와 OFDM 전송장비의 성능 평가 실험을 실시하여 보았다. 무선 환경하에서의 DSSS/OFDM 전송장비의 성능평가 결과, OFDM 전송기술을 사용한 장비의 성능이 성능면에서 훨씬 우월함을 보여주었다. 따라서 고속을 요하는 차세대 무선 인터넷의 전송기술로서 적합하게 사용될 수 있을 것으로 보인다.

## Performance Analysis of OFDM for 4G Wireless Communications

Chae-Kak Kim<sup>†</sup> · Moon-Seog Jun<sup>††</sup>

### Abstract

With wireless, computer, and internet technologies, the wireless internet service is expected to increase rapidly. The high-speed transmission technologies are developing in multimedia and voice communications which we want to require for. However, the DSSS transmission scheme is largely adopted currently and is not enough for future wireless environments because of its limited transmission speed. In this paper, we develops the OFDM technologies considered for the transmission scheme of next generation and measures the throughputs of DSSS/OFDM under the previous same condition. Through the performance analysis of DSSS/OFDM in wireless environments, we have comparatively shown that our OFDM scheme is the ideal candidate for most contemplated high-speed wireless internet applications.

키워드 : OFDM, 전송기술(Transmission Technology), 무선인터넷(Wireless Internet), 전자상거래(Electronic Commerce)

### 1. 서 론

현재 무선통신 전송기술은 근거리 환경에서 수 Mbps 혹은 그 이상의 전송률을 제공하고 있을 뿐, 원거리 셀룰러 네트워크 환경 하에서는 제한된 스펙트럼의 가용성뿐만 아니라 심각한 경로손실, 지연확산, 페이딩 현상 때문에 전송률이 현저하게 떨어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 최근 무선 환경하에서 전송속도를 획기적으로 개선할 수 있는 OFDM 전송기술을 고찰하고자, MATLAB을 이용한 시뮬레이션 모델을 통해 전송성능에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 대한 실험과 Wi-LAN사의 OFDM 전송기술을 사용하는 I.WILL 300-24 장비와 DSSS 전송기술을 사용하는 Hopper Plus 120-24 장비를 사용한 전송기술간의 실제 성능분석 비교를 하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 OFDM 시스템 개요를 기술하였고, 3장에서는 MATLAB을 이용한 OFDM 시뮬레이션 모델을 구

성하고, 4장에서는 OFDM 시뮬레이션 모델을 이용 시스템의 매개변수를 변경 시키면서 다양한 채널 환경하에서의 성능에 미치는 영향을 테스트하였다. 그리고 5장에서는 OFDM 및 DSSS 전송기술을 채택한 실제 장비를 이용한 성능 테스트 결과를 분석한다. 그리고 6장에서는 결론과 차후 연구방향 등을 기술한다.

### 2. 직교주파수분할다중화(OFDM) 시스템

OFDM 시스템은 1950년대 중반에 기본 개념이 제안되었으며, 초기에는 시스템의 복잡성 등으로 널리 사용되지 못하였다. 그러나 최근 디지털 신호처리(DSP: Digital Signal Processing) 및 집적회로(IC: Integrated Circuit) 제작기술이 발전 하면서 이의 효율적인 이용 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

#### 2.1 OFDM의 원리

OFDM은 다중 반송파 시스템의 일종으로서 가용주파수 대

<sup>†</sup> 정 회 원 : 김포대학 컴퓨터계열 교수

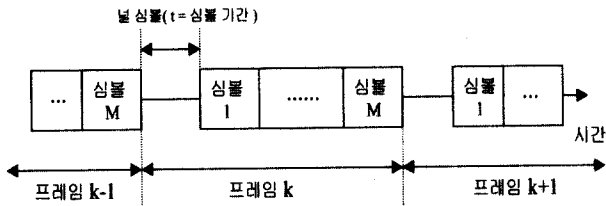
<sup>††</sup> 종 신 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

논문접수 : 2001년 6월 28일, 심사완료 : 2001년 7월 25일

역을 다수의 부대역으로 나누고, 서로 직교인 신호를 각 부대역 반송 주파수를 중심으로 중첩되게 할당하여 전송하는 방식이다. 단일 반송파 시스템에 비해 다중경로 페이딩 채널 환경에서 성능이 우수하며, 주파수 효율이 좋다. 모든 OFDM 심볼사이에는 채널의 지연확산 보다 긴 보호구간을 삽입하여 심볼간 간섭(ISI : Inter-Symbol Interference)을 제거할 수 있으며, 보호구간에 OFDM 신호의 일부를 복사하여 심볼의 시작부분에 배치하여, OFDM 심볼을 순환적으로 확장하게 함으로써 반송파간 간섭(ICI : Inter-Channel Interference)을 배제할 수 있다[2].

2.1.1 OFDM 프레임 구성

OFDM에서는 N개의 부반송파  $\{f_k : k=0, \dots, N-1\}$ 가 모여 심볼  $(x_k)$ 을 구성하며, N개의 심볼이 모여 프레임을 구성하게 된다[3]



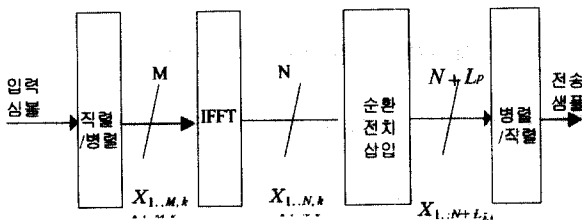
(그림 1) 프레임 구성형태

2.2 OFDM 시스템의 구조

2.2.1 OFDM 송신부

OFDM 송신부를 위한 기본 모형은 (그림 2)와 같이 나타낼 수 있다.

- $X_{i,k}$  : 병렬스트림 형태의 데이터 심볼 ( $1 < i < M$ )
- OFDM 심볼 =  $X_{1,k} + X_{2,k} + \dots + X_{M,k} = \sum_{i=1}^M X_{i,k}$
- IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 처리후의 샘플 =  $X_{1,k} + X_{2,k} + \dots + X_{N,k}$
- OFDM 심볼의 확장 =  $N + L_p$  (cyclic prefix)

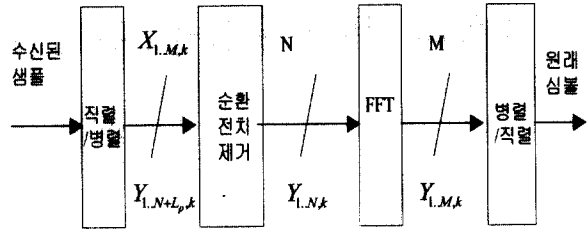


(그림 2) OFDM 송신부의 블록도

2.2.2 OFDM 수신부

수신된 신호 :  $Y = CX + \eta$

Y : 수신된 신호의 주파수 응답, C : 채널의 주파수 응답,  
X : 전송된 신호의 주파수 응답,  $\eta$  : 추가된 잡음

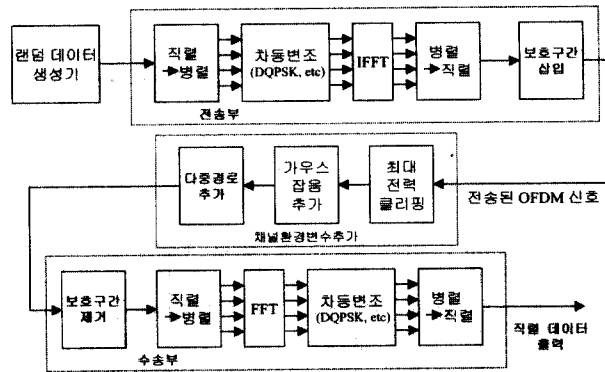


(그림 3) OFDM 수신부의 블록도

3. OFDM 시뮬레이션 모델 설계

3.1 OFDM 시뮬레이션 모델 설계

OFDM 시뮬레이션 모델은 MATLAB[6]을 사용하여 구성되었으며, 시스템의 매개변수를 변경시키면서 다양한 채널 환경하에서의 OFDM의 성능을 측정하고자 하였다.



(그림 4) 시뮬레이션 모델

3.2 시뮬레이션 모델의 구조

전송부에서 입력되는 직렬 데이터는 전송에 필요한 워드 크기로 변환 되어진후, 각 데이터 워드를 단일 반송파에 할당하여 병렬로 전송하게 된다. 전송되어진 데이터는 변조 되어진 후, 일치하는 시간 파형으로 변환시키기 위해, 역 푸리에 변환을 실시하며, 각 심볼의 앞에 보호구간이 삽입되어지게 된다.

채널 모델에서는 신호 대 잡음비(SNR : Signal to Noise Ratio), 다중경로, 최대전력 클리핑 등의 요소가 조정되어진다. 전송된 신호에 일정한 양의 백색 잡음이 추가되며, FIR (Finite Impulse Response) 필터를 사용하여 지연확산을 시뮬레이션 할 수 있도록 다중경로 지연 확산이 추가되어진다.

수신부에서는 보호구간이 제거되며, 푸리에 변환을 거쳐 초기의 전송된 스펙트럼을 얻은 후, 복조과정을 통하여 초기 데이터 크기와 같은 워드 크기를 얻게 된다.

4. OFDM 시뮬레이션 모델의 성능 실험 분석

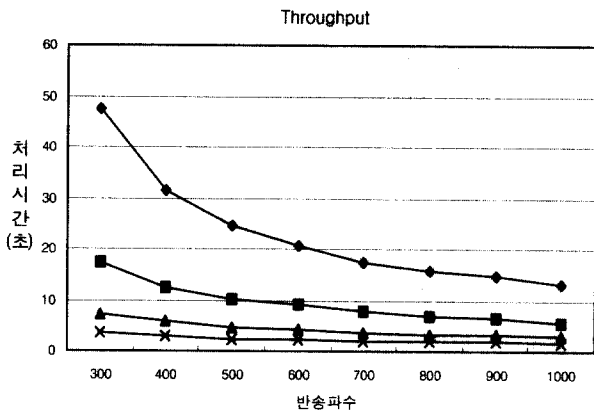
MATLAB을 이용하여 구성된 OFDM 시뮬레이션 모델을 통한 실험에서는 반송파 수에 따른 처리성능(throughput)의 변화와 다양한 채널 환경하에서 OFDM의 성능에 영향을 미

칠 수 있는 변수들 즉, 다중경로로 인한 지연확산, 최대 전력 클리핑, 채널 신호대 잡음비등과 비트에러율의 상관관계를 분석하여 보았다.

4.1 반송파수 변화에 따른 성능 분석

반송파수 변화에 따른 성능 분석을 위해, FFT(Fast Fourier Transform) 크기를 2,048, 전송 파일의 크기를 28kb(Excel파일), 보호구간을 512(순환확장)으로 설정하고, 반송파의 변조방법을 BPSK(Binary Phase Shift Keying : 1bits/Hz)와 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying : 2bits/Hz), 16PSK(4bits/Hz), 256PSK(8bits/Hz)을 사용하여 반송파 수의 변화에 따른 처리시간을 비교하여 보았다.

(그림 5)의 분석에서 단위시간당 처리비트 수가 많은 변조방식이 처리속도가 빠름을 알 수 있다. 특히 반송파 수 300~500대에서 처리 속도는 변조방식에 따라 수배에서 수십배까지 차이가 남을 보여주고 있다. 또한 반송파 수 측면에서도 같은 변조방식을 사용한다고 하더라도 반송파 수가 많을수록 처리성능이 상당히 차이가 남을 보여주고 있다. 그러나 변조방식의 선택은 잡음과 밀접한 관계가 있고, 반송파수의 무조건적인 증가는 주파수 안정성에 영향을 미칠 수 있으며, OFDM이 이에 매우 민감하기 때문에 최적의 반송파 수 및 변조방식의 결정은 주변 환경을 고려하여 결정되어야 한다.

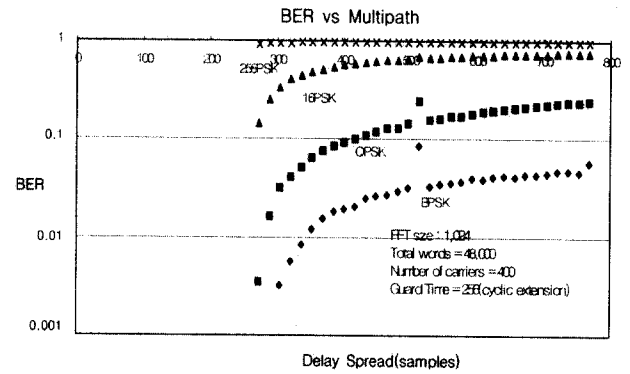


(그림 5) 반송파 수에 따른 성능비교

4.2 다중경로 지연확산에 따른 성능 비교

OFDM 전송방식의 특징중의 하나가 OFDM이 다중경로 확산에 효율적으로 대처할 수 있다는 점이다. 전송되는 심볼간 간섭을 배제하기 위해 보호구간이 각 OFDM 심볼에 삽입되어지며, 보호구간은 예상되는 지연확산보다 길게 함으로써 이전 심볼로부터의 다중경로 성분이 현재 심볼에 영향을 주지 않도록 한다[4]. 다중경로 지연확산 실험에서는 FFT 크기를 1,024, 전송 워드 수를 48,000, 반송파 수를 400으로 설정하고, 반송파 변조 방법을 BPSK, QPSK, 16PSK, 256PSK를 사용하여 실험을 실시 하였다. 실험시 보호구간의 유형은 순환 확장의 형태로 구성하였다. 실험 결과, 순환확장에 해당하

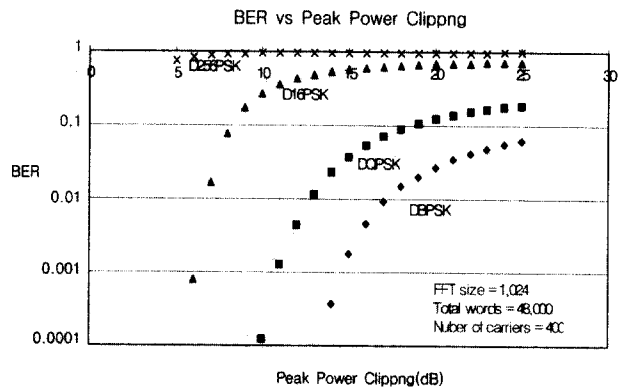
는 샘플보다 낮은 지연확산의 경우 비트 에러율(BER)이 매우 낮으며, 이보다 긴 지연확산 발생시 심볼간 간섭(ISI) 때문에 비트 에러율은 급격히 증가함을 보여주고 있다. 최대 비트에러율은 지연확산이 매우 클때(심볼타입보다 클 때) 발생하며, 이것이 강한 심볼간 간섭을 일으키는 원인이 된다. 반송파 변조 방식에 있어서는 순환확장 보다 긴 지연확산 발생시 단위시간당 처리비트 수가 많은 변조방식의 에러율이 훨씬 높게 나타남을 보여주고 있다. (그림 6)에서 16PSK를 사용한 경우, BPSK, QPSK의 경우 보다 비트에러율이 상대적으로 상당히 높아지는 것을 보여주고 있다.



(그림 6) 지연확산 대비 비트에러율

4.3 최대전력 클리핑

시간영역 OFDM 신호는 독립적으로 많은 반송파들로 구성되므로 이들이 동위상으로 더해질 때 큰 크기의 신호가 발생하여 최대전력 대 평균전력비가 크게 나타난다. N 개의 신호가 동일한 위상으로 더해지면 최대전력은 평균전력의 N배가 되며, 최대전력 대 평균전력비가 크면 RF 전력 증폭기의 효율이 감소하는 단점이 발생한다. 따라서 최대전력 대 평균전력비를 감소시키기 위한 기법중의 하나로서 OFDM 신호를 피크에서 비선형적으로 왜곡시켜 간단히 크기를 감소시키는데 이 방법이 클리핑 방법이다[4]. OFDM 신호는 수신되는 비트에러율에 영향을 거의 주지않으면서 클리핑 할 수 있다. 최대 전력 클리핑 실험에서는 FFT 크기를 1,024, 전송 워드

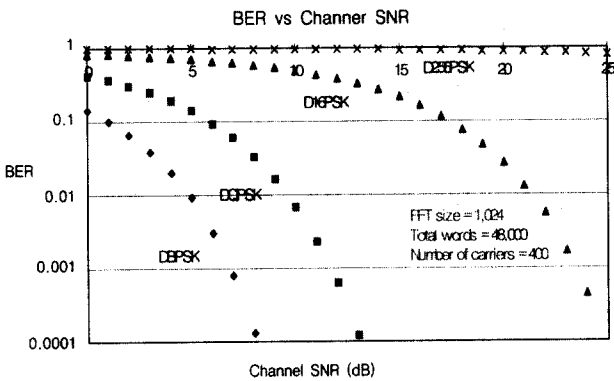


(그림 7) 최대전력 클리핑 대비 비트에러율

수를 48,000, 반송파 수를 400으로 설정하고, 반송파 변조 방법을 BPSK, QPSK, 16PSK, 256PSK를 사용하여 실험을 실시하였다. 실험결과 (그림 7)에서 16PSK의 경우 5dB까지, QPSK의 경우 9dB까지, BPSK의 경우 12dB까지 비트에러율에 영향을 미치지 않고 클리핑 가능함을 보여주고 있다.

4.4 채널 잡음 허용정도

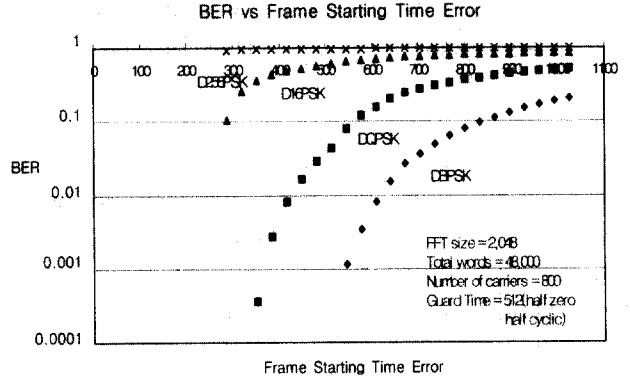
OFDM의 신호대 잡음비(SNR) 성능은 단일 반송파 전송과 유사하다. 실험 결과 (그림 8)에서는 BPSK는 잡음이 많은 채널에서 유용하게 사용되어질 수 있음을 보여주고있다. BPSK 사용시 신호대 잡음비가 8dB 이상일 경우, QPSK를 사용시 신호대 잡음비가 14dB 보다 큰 경우 바람직하다. 비트에러율은 BPSK의 경우 신호대 잡음비가 5dB 이하로 떨어질 때, QPSK의 경우 신호대 잡음비가 9dB 이하로 떨어질 때, 16PSK의 경우 신호대 잡음비가 21dB 이하로 떨어질 때 급속히 나빠진다. 신호대 잡음비가 25dB이상인 링크에서는 16PSK가 사용되어질 수 있으며, 48dB이상인 경우 256PSK를 사용하는 경우 처리용량을 높일 수 있다.



(그림 8) 채널 SNR 대비 비트에러율

4.5 타이밍 오차

OFDM 방식에서 타이밍 동기를 이루는 목적은 심볼간 간섭과 채널간 간섭을 최소화 하기 위한 것이다. 심볼간 간섭과 채널간 간섭은 FFT 구간이 심볼 경계를 넘을 때 발생한다. 따라서 다중경로에 강한 최적의 타이밍 순간이 존재하며, 여기에서 벗어나면 지연확산에 대한 민감성이 증가하게 되고 이 결과로 시스템은 훨씬 더 적은 지연확산을 다룰 수 있다. 이러한 손실을 최소화 하기 위해 타이밍 오차가 보호구간 보다 작도록 시스템을 설계 해야 한다[4]. 타이밍 오차 실험에서는 FFT 크기를 2,048, 전송 워드 수를 48,000, 반송파 수를 800으로 설정하고, 반송파 변조 방법을 BPSK, QPSK, 16PSK, 256PSK를 사용하여 실험을 실시 하였다. 실험 결과 (그림 9)에서 처리 수신된 비트에러율에서의 타이밍 오차의 영향이 256 샘플 이후부터 나타남을 보여주고 있다. 이 길이는 보호구간의 순환확장 부분과 일치하는 것을 보여 주고 있으며, 보호구간으로 인한 신호의 직교성 유지에 기인하는 것이라고 볼 수 있다.



(그림 9) 프레임 타이밍 오차 대비 비트에러율

5. OFDM/DSSS 성능 비교 실험

5.1 OFDM/DSSS 성능 비교 실험

최적의 무선링크를 구축하기 위해서는 기지스테이션과 원격스테이션간의 거리 및 장애물여부, 실내·외 환경에 따른 안테나 유형 선택, 안테나 높이·방향, 바람의 영향, 연결장비와 안테나 사이의 케이블의 길이 등 성능에 영향을 미칠 수 있는 모든 요소들이 사전에 충분히 검토되어야 한다. 본 성능 실험에서 사용되어진 장비 및 구성도는 다음과 같다.

5.1.1 실험장비

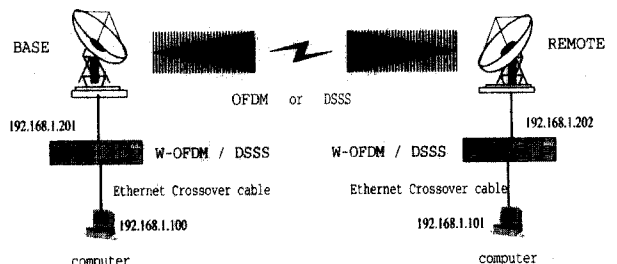
1) 실험 장비

- 2 \* OFDM 액세스 포인트(I.Will 300-24) : 기지 및 원격 스테이션(OFDM 실험)
- 2 \* DSSS 액세스 포인트(Hopper Plus 120-24) : 기지 및 원격 스테이션(DSSS 실험)
- 2 \* 안테나
- 2 \* 10/100 이더넷 포트를 가진 노트북 컴퓨터
- 2 \* 이더넷 케이블
- 1 \* 소프트웨어(성능 평가용)

2) 액세스 포인트 사양

| 항목        | DSSS(Hopper Plus 120-24)[7] | OFDM(L Will 300-24)[8] |
|-----------|-----------------------------|------------------------|
| 전송방식      | MC(Multi Code)-DSSS         | W(Wideband)-OFDM       |
| 전송속도      | 12 Mbps                     | 30 Mbps                |
| RF 주파수 대역 | 2.4~2.4385 GHz              | 2.4~2.4385 GHz         |
| 패킷 형식     | IEEE 802.3                  | IEEE 802.11a           |

5.1.2 테스트 구성도



(그림 10) 테스트 네트워크 구성도

5.2 실험 환경 구성

성능실험을 위한 작업으로서는, 기지 스테이션과 원격 스테이션의 네트워크 구성을 위한 IP 주소 지정 작업과, 링크의 최적 상태를 유지하기 위한 MAC Layer 통계 화면을 통한 각 요소의 조정 작업등이 선행되어야 한다. 아래의 <표 1>은 네트워크 구성 메뉴를, <표 2>는 네트워크 구성변경을 위한 일반사용자와 관리자의 암호변경을 위한 메뉴를 보여주고 있다.

<표 1> 기지 스테이션을 위한 네트워크 구성 화면

| Network Configuration      |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Internet IP Address        | → 192.168.1.201 |
| Internet IP Mask           | 255.255.255.0   |
| Ethernet MAC Address       | 000203040506    |
| IP Routing Option          | Transparent     |
| Default Gateway IP Address | 192.168.1.254   |
| SNMS NMS Trap Address      | 192.168.1.254   |

<표 2> 시스템 보안 구성 화면

| SYSTEM Security               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| System Ethernet Access        | on                              |
| System Wireless Access        | on                              |
| SNMP Public Community Name    | public                          |
| SNMP Private Community Name   | netman                          |
| Change User Password          | Press Enter to change password  |
| Confirm User Password         | Press Enter to confirm password |
| Change Supervisor Password    | Press Enter to change password  |
| Confirm Supervisor Password   | Press Enter to confirm password |
| Auto Logout Timeout (Minutes) | 10                              |

<표 3>의 MAC Layer 통계 화면은 성능과 관련된 수치들을 보여주고 있으며, 이를 통해 링크의 상태를 파악할 수 있다.

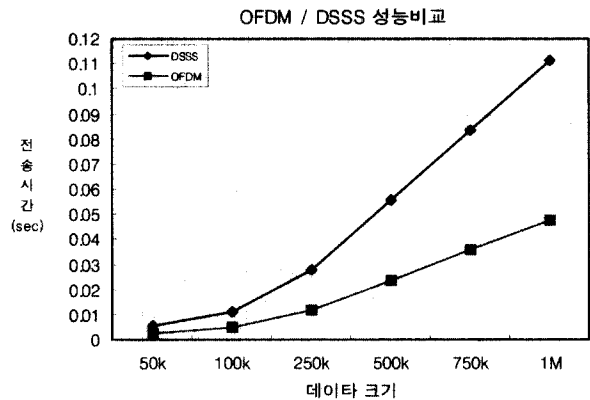
<표 3> MAC Layer 통계화면

| MAC Layer Statistics        |     |                              |      |
|-----------------------------|-----|------------------------------|------|
| Ethernet Receive Statistics |     | Ethernet Transmit Statistics |      |
| Total Frames Received       | 4   | Total frames Transmitted     | 0    |
| Frames For Local Host       | 4   | Frames For Local Host        | 0    |
| Receive Errors              | 0   | Frames Dropped               | 0    |
| Frame Dropped               | 0   |                              |      |
| OFDM Decoder Statistics     |     | OFDM Encoder Statistics      |      |
| Total Frame Decoded         | 0   | Total Frames Encoded         | 4    |
| Decoder IDMA Transfers      | 0   | Encoder IDMA Transfers       | 4    |
| Frames For Local Host       | 0   | Frames From Local Host       | 0    |
| Uncorrected Frames          | 0   | OFDM Unpacking Statistics    |      |
| Uncorrected Bytes           | 0   | Start Sequence Errors        | 0    |
| Corrected Frames            | 0   | Start Seq Extra Bytes        | 0    |
| Corrected Bytes             | 0   | Header Errors                | 0    |
| OFDM Channel Statistics     |     |                              |      |
| Rssi (dBm)                  | -87 | Average Throughput           | 640  |
| Null Depth (dB)             | 0   | Maxium Throughput            | 2016 |
| Fade Margin (dB)            | 0   |                              |      |
| FEC BER                     | 0   |                              |      |
| BER                         | 0   |                              |      |

다. 이 중 가장 심각하게 영향을 미치는 요소들이 페이드마진(Fade Margin)과 RSSI(Received Signal Strength Indicator)이다. 일반적으로 I. WiLL 액세스 포인트장비 사용시 페이드 마진의 경우 최소 13dB 이상, RSSI는 -75dB 이상을 권고하고 있다. 따라서 이 수치에 미달하는 경우, 영향을 미칠 수 있는 각종 요소들, 시스템 이득, 안테나 이득, 안테나사이의 거리, 방향, 높이, 장애물여부, 장비와 안테나 사이의 케이블의 길이 등이 최적의 상태가 되도록 조정해야 한다[7].

$$\text{페이드 마진} \geq \text{시스템 이득} + \text{안테나 이득} - \text{전파 손실} - \text{케이블 손실} - \text{커넥터 손실}$$

5.3 OFDM/DSSS 성능 실험결과 분석



(그림 11) OFDM/DSSS 성능 비교

(그림 11)에서 나타난바와 같이, OFDM 전송방식을 사용한 장비 테스트 결과 전송되는 데이터의 크기에는 무관하게 평균전송속도가 약 21Mb의 전송속도를 보여주어, 사양에서 제시하는 최대 전송 속도치에는 못 미치지만, 현재 많은 무선랜 제품에서 채택하여 사용하고 있는 DSSS 전송방식의 장비에 비해서는 전송속도면에서 훨씬 우수함을 보여주고 있다. 이 수치는 이론적으로 기존 유선상에서 사용되는 T1급 13회선 이상의 속도를 나타내고있어 고속의 데이터 전송을 요하는 네트워크 구성시 이를 적절히 활용한다면, 경제적인 면에서도 상당한 이점을 제공할 것으로 보인다.

6. 결 론

세계적인 건설탕업체인 미국 매킨지는 무선인터넷시대의 전자상거래 보고서에서 무선인터넷을 통한 B2B EC 규모가 오는 2004년 1200억달러에 달할 것으로 전망했다. 이 보고서에서는 또한 오는 2005년이면 전세계 인구의 4분의 1 가까운 15억명이 무선인터넷을 활용, 유선인터넷 사용자수를 증가하는 한편 전체 B2C 시장의 3분의 1 가량을 무선인터넷이 차지할 것으로 내다봤다. 무선, 컴퓨터와 인터넷 기술이 결합된 인터넷 서비스가 급속히 확대 될 것으로 전망됨에 따라 무선

인터넷 접속에 있어서 전송속도 문제는 시급히 개선되어야 부분으로 떠오르고 있다. 본 논문에서는 MATLAB을 이용한 시뮬레이션 모델 구성을 통해 OFDM 성능에 영향을 미칠 수 있는 변수들을 변경시키면서 다양한 채널 환경하에서 테스트를 실시하였고, OFDM 기술을 최초로 적용한 I.Will 300-24 OFDM 장비와 기존의 DSSS 기술을 적용한 Hopper-Plus 100-24 장비를 통한 전송속도에 대한 성능 평가를 실시하여 보았다는데 의의가 있다.

성능평가 결과, 전송속도면에서 OFDM 전송기술을 사용한 장비의 성능이 DSSS 전송기술을 사용한 장비에 비해 성능면에서 훨씬 우월함을 보여주고 있다. 따라서 음성뿐만 아니라 고속멀티미디어 통신까지 제공해야하는 차세대 이동통신에서 요구하는 고속의 전송속도를 만족시켜 줄 수 있는 유일한 대안으로써 사용될 수 있을뿐 만 아니라, 현재 유선으로 이루어지는 대다수의 네트워크 구성에서도 이를 적절히 활용할 수 있는 방안이 강구되어진다면, 경제적인 면에서도 상당한 이점이 있을 것으로 보인다.

**참 고 문 헌**

[1] E. Lawrey, "Multiuser OFDM," Fifth International symposium on signal processing and it's applications ISSPA '99, Aug. 1999.  
 [2] K. azel and L. Papke. "On the Performance of convolutionally-coded CDMA/OFDM for mobile radio communication systems," In Proc. IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobil Radio Communications(PIMRC), pp.D3.2.2-D3.2.5, September, 1993.  
 [3] Ove edfors & Magnus sandell, "Introduction to orthogonal frequency dvision multiplexing," Sep, 1996.  
 [4] Richard van lee & Ramjee prasad, "OFDM for wireless

Multimedia communications," Artech House Publishes, 2000.  
 [5] Louis litwin, "An introduction to multicarrier modulation," IEEE, May, 2000.  
 [6] The Math works Inc., "The language of technical computing," Mathlab version 6, Nov. 2000.  
 [7] WiLAN Inc., "I. WiLL 300-24 Access Point Installation & Configuration Guide," July, 2000.  
 [8] WiLAN Inc., "Hopper Plus 120-24 Access Point Installation & Configuration Guide," Jun, 1999.



**김 재 각**

e-mail : ckkim@kimpo.ac.kr

1981년 숭실대학교전자계산학과(공학사)  
 1985년 연세대학교 산업대학원 전산전공(석사)  
 1998년 숭실대학교 대학원(박사과정)  
 1985년~1994년 LG전자, 삼보컴퓨터 근무

1996년~현재 김포대학 컴퓨터계열 조교수  
 관심분야 : 무선인터넷, OFDM, 전자상거래보안



**전 문 석**

e-mail : mjun@computing.soongsil.ac.kr

1981년 숭실대학교 전자계산학과(공학사)  
 1986년 University of Maryland. Computer Science(석사)  
 1988년 University of Maryland. Computer Science(박사)

1989년 Morgan State Univ. 부설 Physical Science Lab. 책임연구원  
 1991년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 부교수  
 관심분야 : 병렬처리시스템, OFDM, 인터넷 보안, 침입차단시스템, 전자상거래 보안