

# 등화기법을 적용한 OFDM 기반 DSRC 시스템

정회원 윤현민\*, 강문규\*\*

## OFDM-Based DSRC System Using Equalization Technique

Hyun-min Yun\*, Moon-Kyoo Kang\*\* *Regular Members*

### 요 약

차세대 시스템과 기존 DSRC 시스템의 채널환경 차이는 주파수 선택적 페이딩 채널환경이 되므로, 무선 다중 경로 채널에서 심볼간 간섭이 발생하게 된다. 무선 다중경로 채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우, 신호는 페이딩, 심볼간 간섭에 의한 영향으로 높은 에러율을 갖게 된다. 그러므로 현재 개발된 DSRC 시스템의 변복조 방식은 1 Mbps 이상의 데이터 서비스가 어렵다. 따라서 새로운 채널등화 기법 및 개선된 변복조 방식이 요구된다. OFDM 방식은 보호간격의 삽입을 통하여 심볼간 간섭을 방지할 수 있으므로 고속 데이터 전송에 적합하다. 그러나, 보호구간이 OFDM 방식에서의 각각의 심볼주기에 사용되는 채널 지연 확산보다 길어지므로 채널활용의 효율성에서 상당한 손실이 야기된다. 그러므로 등화기를 고속의 데이터 전송율과 긴 채널 지연확산 조건을 가지는 ITS 서비스에 적용하기 위해서는 심볼간 간섭을 제거할 필요가 있다. 본 논문에서는 OFDM-DSRC 시스템을 위한 채널 등화기를 설계하였으며, 다중경로 페이딩 환경에서 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하였다. 그 결과, OFDM-DSRC 시스템을 위한 의사 LMMSE 등화기의 성능이 고속의 전송환경에서 LS 등화기보다 우수함을 알 수 있었다.

**Key Words** : DSRC, OFDM, ITS, Equalizer

### ABSTRACT

The difference of the channel environment from former DSRC system and the next generation one comes from frequency selective fading channel environment, therefore ISI is occurred in wireless multi-path channel. The signal in wireless multi-path channel is affected by fading and ISI because of high data rate transmission, so the signal has the high error rate. The present modulation and demodulation method of DSRC system can not expect sufficient for providing data service over 1 Mbps, so the channel equalization and advanced modulation and demodulation methods are required. OFDM is generally known as an effective technique for high data rate transmission system, since it can prevent ISI by inserting a guard interval. However, a guard interval longer than channel delay spread has to be used in each OFDM symbol period, thus resulting a considerable loss in the efficiency of channel utilization. Therefore the equalizer is necessary to cancel ISI to accommodate advanced ITS service with higher bit rate and longer channel delay spread condition. In this thesis, the channel equalizer for the OFDM-DSRC system was designed and its performance in a multi-path fading environment was evaluated with simulation. As a result, the performance of Pseudo LMMSE equalizer for the OFDM-DSRC has been improved comparing with LS equalizer at higher bit rate transmission system.

### I. 서 론

지능형 교통관제 시스템(Intelligence Traffic System, ITS)란 도로, 차량, 신호 시스템 등 기존

교통체계의 구성요소에 전자, 제어 통신 등 첨단기술을 결합시켜 구성요소들이 상호 유기적으로 작용하도록 하는 차세대 교통체계 또는 시스템으로, 한정된 도로자원에 비해 증가하는 차량을 효율적으로

\* 재능대학 정보통신계열 (syw527@mail.jnc.ac.kr), \*\* 재능대학 컴퓨터정보계열 (kmk555@mail.jnc.ac.kr)  
논문번호 : 08020-0320, 접수일자 : 2008년 3월 20일

조정하여 도로 사용율을 높이는 기술로 활성화되고 있다. 따라서 ITS의 도입에 따라 새로운 개념의 통신 수단으로 등장하게 된 것이 DSRC (dedicated short range communication, 단거리 무선통신)이다.

기존 DSRC 시스템과 차세대 DSRC 시스템의 채널 환경과의 가장 큰 차이는 데이터 전송속도의 증가로 인하여 무선 다중경로 채널에서 심볼간 간섭 (inter symbol interference, ISI)이 발생하여 주파수 선택성 페이딩 채널 환경이 되는 것이다. 무선 다중경로 채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우 신호는 페이딩, 심볼간 간섭, 주파수 재사용, 다중경로 등의 영향으로 인하여 높은 에러율을 갖게 된다. 그러므로 현재 개발된 1 Mbps급 DSRC 시스템의 변복조 방식으로는 충분한 성능을 기대할 수 없으며, 심볼간 간섭을 제거하기 위한 채널 등화와 개선된 변복조 방식이 필요하게 된다<sup>1)</sup>.

최근 무선 채널에서 10Mbps 이상인 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 OFDM 방식이 활용되고 있는데, 이는 스펙트럼 효율이 좋은 다중반송파 전송 방식으로써 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 부채널로 나누어 이를 중첩시켜 동시에 전송하는 방식이다. 다중경로 페이딩을 갖는 무선통신 채널에서 심볼주기가 짧은 고속 데이터 전송시 단일 반송파 방식을 사용하게 되면 심볼간 간섭이 더욱 심해지기 때문에 수신단의 복잡도가 크게 증가하는 반면, 다중 반송파 방식의 경우에는 데이터 전송속도를 그대로 유지하면서 각 부반송파에서의 심볼주기를 부반송파의 수만큼 확장시킬 수 있으므로 다중 경로 지연 확산에 의해 발생하는 시간상에서의 상대적인 신호 분산이 감소한다. 또한 모든 OFDM 심볼 사이에 채널의 지연 확산보다 긴 보호구간을 삽입하여 심볼간 간섭을 제거 할 수 있다<sup>2)3)</sup>. 그러나 대역폭 등의 문제로 일반적으로 보호구간은 심볼주기의 1/4정도로 설정하며, 따라서 다중경로의 채널 지연이 보다 심각해질 경우, 보호구간만으로는 심볼간 간섭을 모두 제거할 수 없다. 이러한 경우 채널에서의 전송 시간 지연에 의한 왜곡은 등화기를 사용하여 보상해 주어야 하며, 특히 데이터 전송 속도가 고속이 될수록 등화기의 사용이 절대적으로 필요하게 된다.

본 논문의 구성은 제1장은 서론으로 연구배경을 소개하며, 제2장에서는 DSRC 시스템의 개요, 채널 모델 및 제안한 등화기법에 대하여 고찰하고, 제3장에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능분석을 하며, 제4장에서 결론을 맺고자 한다.

## II. DSRC 시스템

### 2.1 DSRC의 개요

ITS의 기본 개념은 교통, 전자, 통신, 제어 등 첨단 기술을 활용하여 실시간 교통 정보를 수집, 관리 제공하여 기존 교통 시설의 이용 효율을 극대화하여 막대한 물류비용이 손실되는 복잡한 교통 시설의 공급확대 및 효율성을 극대화 할 목적으로 하고 있다<sup>4)</sup>. DSRC 시스템은 ITS 전용 근거리 무선통신 방식으로 현재 전 세계적으로 도로통행요금 자동징수 시스템의 통신모듈로 사용되고 있다. DSRC는 5GHz 대역을 사용하며 데이터 전송속도가 수백 kbps 이상인 통신방식으로 정의되므로, RFID나 비이콘과는 구별된다<sup>5)6)</sup>.

국내에서는 5.8GHz 대역의 마이크로파를 사용하는 RF-DSRC 시스템과 850nm 대역의 적외선을 사용하는 IR-DSRC 시스템이 상용화되어 전자요금징수와 버스정보시스템을 서비스하고 있으며, 두 시스템은 OSI 7계층 참조모델 중 물리계층, 데이터링크계층 및 응용계층만을 사용하여 구현하였다<sup>7)</sup>.

그림 1은 DSRC 시스템의 개념도를 보이는 것으로, DSRC 시스템은 노변장치라 불리는 도로변에

표 1. DSRC 시스템 모드별 비교  
Table 1. Comparison by each DSRC system mode.

구분	수동 DSRC	능동 DSRC	비이콘
주파수 대역	5.8GHz	5.8GHz	200MHz
셀 크기	10m	100m<	500
대역폭	5MHz	10MHz	-
변조방식	down link : ASK, up link : DPSK	ASK	FSK
전송속도	down link : 500Kbps up link : 250Kbps	1Mbps	9.6Kbps
다중접속	PTP	PTMP	PTP
프로토콜	HDLC	Slotted ALOHA	HDLC

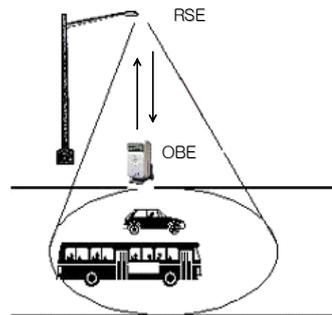


그림 1. DSRC 시스템의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of DSRC system.

위치한 소형기지국(Roas Side Equipment, RSE)과 차량내에 탑재된 차량 탑재장치(On Board Equipment, OBE)간의 단거리 전용통신방식으로, 시스템 방식으로는 수동형/능동형 및 Beacon 방식이 있다. 표 1에는 DSRC 각 방식별 시스템을 비교하였다<sup>[8]</sup>.

### 2.2 채널 모델

이동 무선 채널은 무선통신 시스템의 성능을 결정하는 중요한 파라미터로 실제적인 무선 채널의 모델링은 무선시스템 설계에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다. 또한, 무선통신 채널 특성은 거리에 따른 전파의 전파 감쇠와 다중경로 특성이 중요하게 작용한다. 따라서 무선채널 환경 분석이 무선채널의 효과적인 사용을 위하여 선행되어야 한다. 본 논문에서 고려한 DSRC 시스템의 채널환경은 다양한 교통정보와 멀티미디어서비스 등을 제공하기 위한 데이터 전송속도의 증가로 인하여 무선 다중경로 채널에서 ISI가 발생하여 주파수 선택성 페이딩 채널 환경이 된다. 현재 무선채널의 환경 분석시 2-ray 라이시안 모델을 주로 사용하지만, 실제 도심 환경에는 빌딩 또는 이동체 장애물이 존재하므로 다중경로 성분들이 발생하게 된다. 그러므로 수신측에서는 많은 다중경로 성분들을 모두 수신하게 된다. 표 2에는 RSE와 OBE간의 거리에 따른 ray-tracing 기법을 통해 얻은 각 ray 별 진폭 특성을 각 지점에서의 가시거리(Line of Sight, LOS) 성분으로 정규화 시킨 값을 보인다<sup>[1]</sup>. 6-ray 성분은 2-ray 성분 외에 빌딩의 벽에서 반사된 성분 및 빌딩 벽에서 또 다른 빌딩 벽으로 이중 반사된 성분을 모두 수신한다고 가정한 것이다. 식(1)은 LOS와 독립적인 L개의 레일리 페이딩의 합으로 이루어지는 다중경로 페이딩 채널에 대한 임펄스 응답을 나타낸 것이다<sup>[8]</sup>.

$$h(t, \tau) = \sqrt{2P_s} \delta(t) + \sum_{l=1}^L \sqrt{P_l} h_l(t) \delta(\tau - \tau_l) \quad (1)$$

- $\delta(t)$  : Dirac Delta 함수
- $h_l(t)$  : 레일리 분포를 가지는 l번째 다중경로 채널의 임펄스 응답
- $P_s$  : LOS 신호 성분의 전력
- $P_l$  : l번째 다중 경로 성분의 전력
- $\tau_l$  : l번째 다중 경로 성분의 지연 시간

다중 경로로 수신된 신호의 총전력을  $P_d$ 라 하면, LOS 신호의 전력과 반사되어 들어오는 신호 전력의 비로 나타내는 라이시안 인자(rician factor)  $K$ 는 식(2)와 같다<sup>[8]</sup>.

표 2. 각 레이별 정규화된 파라미터  
Table 2. Normalized parameter by each ray.

구분	2nd-ray/LOS	3rd-ray/LOS	4th-ray/LOS	5th-ray/LOS	6th-ray/LOS
10 m	0.222	0.046	0.06	0.0033	0.0013
30 m	0.329	0.108	0.113	0.011	0.00741
50 m	0.339	0.117	0.121	0.014	0.011
70 m	0.343	0.112	0.124	0.015	0.013
100 m	0.346	0.1247	0.125	0.0155	0.0144

$$K = \frac{P_s}{P_d} \quad (2)$$

여기서, 수신된 신호의 총 전력  $P_d$ 는 식(3)과 같이 된다.

$$P_d = \sum_{l=1}^L P_l \quad (3)$$

무선통신 시스템에서는 서로 다른 다중경로 채널을 비교하기 위하여 다중경로 채널을 정규화하기 위한 파라미터를 사용하는데, 평균 초과지연과 rms 지연 확산은 전력 지연 프로파일(power delay profile)로부터 결정지어질 수 있는 다중경로 채널 파라미터이다. 평균 초과 지연은 전력 지연 프로파일의 1차 모멘트로서 식(4)와 같이 정의되며,

$$\bar{\tau} = \sum_{l=1}^L \frac{P_l}{P_d} \tau_l \quad (4)$$

rms 지연 확산은 전력 지연 프로파일의 2차 모멘트의 제곱근으로써 식(5)와 같이 정의된다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\sum_{l=1}^L \frac{P_l}{P_d} (\tau_l - \bar{\tau})^2} \quad (5)$$

l번째 다중 경로 성분의 지연 시간  $\tau_l = l\Delta\tau$ 일 경우, 즉 l번째 경로에 대해 정수배만큼의 지연을 가진다고 가정할 경우, rms 지연 확산이 ARIB의 측정치인 150 ns 일 때의  $\Delta\tau$ 는 표 3과 같다.

본 논문에서는 ray-tracing 기법을 통해 얻은 6-ray 다중경로 채널 모델을 사용한다. 그림 2는 본 논문에서 사용한 다중경로 페이딩 채널 모델을 나타낸다. 레일리 블록의 출력은 정규화된 파라미터의 진폭을 가지고 발생하며, 결과적으로 각 반사파 성분은 레일리 분포를 가진다. 경로 지연은 l번째 채널에 대해서 l배만큼의 지연을 가지며, rms 지연 확산은 ARIB의 측정치인 150 ns 이다.

표 3. 각 거리별 지연시간  
Table 3. Delay time by each distance.

RSE와 OBE간 거리	10m	30m	50m	70m	100m
$\Delta\tau$ [ns]	287	235	227	224	223

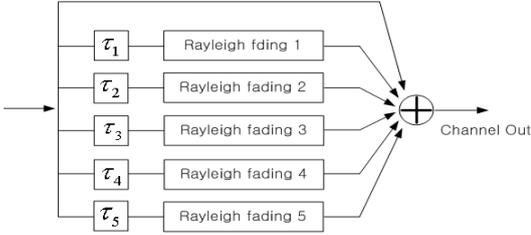


그림 2. 다중경로 페이딩 채널모델  
Fig. 2. Multi-path fading channel model.

2.3 등화기법

IEEE 802.11a 고속 무선 LAN 표준안에 따르면 두 개의 긴 훈련 신호를 이용하여 채널에 의한 열화를 LS (least square) 방식에 따라 보상하여야 한다. 그러나 시스템의 성능 향상을 얻기 위하여 추정치 에러 자승의 평균을 작게 하는 LMMSE (linear minimum mean squared error) 방법을 사용할 수 있다. LS 방법이 실제 채널과 다음과 같은 직교 성질을 만족한다고 가정하면 추정 채널과 실제 채널 오차의 기대값이 '0'이므로 식(6)과 같이 쓸 수 있다<sup>9)</sup>[10][11].

$$E\{(\mathbf{H} - K\hat{\mathbf{H}}_s)\hat{\mathbf{H}}_s^T\} = 0 \tag{6}$$

$\mathbf{H}$ 는 실제 채널이고  $\hat{\mathbf{H}}_s$ 는 LS 방법으로 추정된 채널이며  $\mathbf{T}$ 는 Hermitian Transpose이다. 식(6)을 다시 쓰면 기대값은 상관 함수로 표시할 수 있으므로 다음 식(7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s} - K\mathbf{R}_{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s} = 0 \tag{7}$$

즉, 오차를 작게 하는 계수  $K$ 는 식(8)과 같다.

$$K = \mathbf{R}_{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s} \mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s}^{-1} \tag{8}$$

LS 방법으로 추정된 채널에 실제 채널과의 오차를 작게 하는 계수  $K$ 를 곱하면 LMMSE 추정 채널은 식(9)와 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{\mathbf{H}}_{lmmse} = \mathbf{R}_{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s} \mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s}^{-1} \hat{\mathbf{H}}_s \tag{9}$$

$\hat{\mathbf{H}}_{lmmse}$ 는 LMMSE 방식으로 추정된 채널이고  $\mathbf{R}_{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s}$ 은  $\mathbf{H}$ 와  $\hat{\mathbf{H}}_s$ 의 상호상관 함수로 다음 식(10)과 같이 정의된다.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s} = E\{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s^T\} \tag{10}$$

$\mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s}$ 은  $\hat{\mathbf{H}}_s$ 의 자기상관 함수이며, 사용하는 주파수 대역에서 신호가 동일한 전력을 가진다고 가정하면 식(11)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s} = \mathbf{R}_{\mathbf{H}\mathbf{H}} + \frac{1}{SNR}\mathbf{I} \tag{11}$$

SNR은 신호 대 잡음비이고  $\mathbf{I}$ 는 단위행렬이다. 따라서 식(9)을 다시 쓰면 식(12)와 같다.

$$\hat{\mathbf{H}}_{lmmse} = \mathbf{R}_{\mathbf{H}\hat{\mathbf{H}}_s} \left( \mathbf{R}_{\mathbf{H}\mathbf{H}} + \frac{1}{SNR}\mathbf{I} \right)^{-1} \hat{\mathbf{H}}_s \tag{12}$$

식(12)의  $\mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s}$ 와  $\mathbf{R}_{\mathbf{H}\mathbf{H}}$ 는 각 부반송파의 주파수 상관 함수로 다음 식(13) 및 식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{R}_{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s} = E\{\hat{\mathbf{H}}_s\hat{\mathbf{H}}_s^T\} = r(k-k') \tag{13}$$

$$\mathbf{R}_{\mathbf{H}\mathbf{H}} = E\{\mathbf{H}_k\mathbf{H}_k^T\} = r(k-k') \tag{14}$$

$k$ 와  $k'$ 는 각각  $k$ 번째,  $k'$ 번째 부반송파를 의미하고,  $r(\cdot)$ 는 주파수 상관함수이다. 상대적으로 적은 수의 긴 훈련 신호의 기대값을 얻는 것이 용이하지 않기 때문에 신호의 크기가 지수 함수적으로 감쇠하는 다중경로 채널에서 신호의 주파수 응답으로부터 주파수 상관 함수는 다음 식(15)와 같이 얻을 수 있다<sup>9)</sup>.

$$r(k-k') = \frac{1}{1 + j2\pi\tau_{rms}(k-k')/T_{FFT}} \tag{15}$$

$1/T_{FFT}$ 는 부반송파 이격 간격으로  $T_{FFT}$ 는 3.2  $\mu s$ 를 이용한다. 이와 같이 주파수 상관 함수를 식(15)와 같이 유도하고 식(12)에 적용하여 의사 LMMSE 방법으로 채널의 열화를 보상할 수 있지만 실제 채널의 rms 지연 확산  $\tau_{rms}$ 는 수신단에서 정확한 값을 알 수 없기 때문에 LS 방식을 이용하여 추정된 채널  $\hat{\mathbf{H}}_s$ 를 역이산 푸리에 변환하여 채널의 임펄스 응답을 추정하여 지연 확산 시간을 다음 식(16)과 식(17)로 얻어낸다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\sum_{l=1}^L \frac{P_l}{P_d} (\tau_l - \bar{\tau})^2} \tag{16}$$

$$\bar{\tau} = \sum_{l=1}^L \frac{P_l}{P_d} \tau_l \tag{17}$$

위에서 보인 의사 LMMSE 방식을 이용하면 식(12)

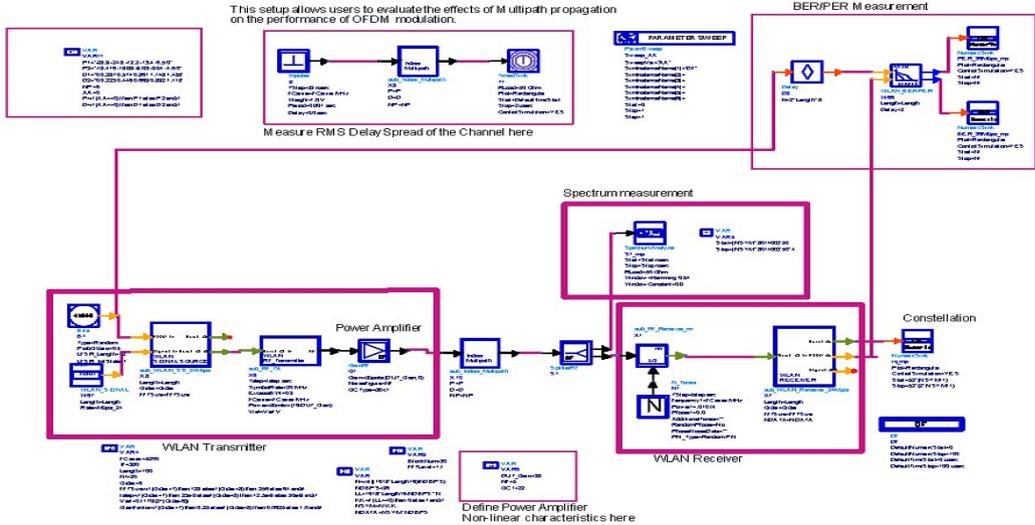


그림 3. DSRC 시스템 구조  
Fig. 3. A structure of DSRC system.

와 같이 많은 복소 계산량이 필요한 추정 방법을 LS 방식으로부터 rms 지연 확산 시간을 구해냄으로써 손쉽게 유도할 수 있고 LS 방식 보다 우수한 성능을 얻을 수 있다.

### III. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서는 DSRC 시스템의 성능을 분석하기 위하여 앞서 제시한 6-ray 다중 경로 채널 모델을 사용하고 국제 표준화 규격인 IEEE 802.11a의 고속 무선 LAN 표준안에 근거하여 시뮬레이션을 하였으며, 이때 이동체의 속도는 평균속도인 60 km/h를 고려하였다. 주파수는 지능형 교통시스템과 관련하여 DSRC용으로 분배된 5.8 GHz대역을 사용하였다. 표 4는 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타내고 있으며, 그림 3은 시뮬레이션에 사용한 HP-ADS로 구현한 시스템 구성도를 보인다.

표 4. DSRC 시스템의 시뮬레이션 파라미터  
Table 4. Simulation parameter of DSRC system.

변조방식	OFDM-QPSK
반송 주파수	5.8 GHz
데이터속도	6 Mbps, 9 Mbps, 12 Mbps, 18 Mbps, 24 Mbps
부반송 파 수	52
채널환경	6-ray 다중경로 채널 RSE와 OBE간 거리 : 100 m rms 지연 확산 : 150 ns
등화기	LS 등화기 Pseudo LMMSE 등화기

그림 4와 그림 5는 6-ray 다중 경로 채널 환경에서 전송 속도가 각각 6 Mbps/9 Mbps 일 때의 BER을 분석한 것이다. 이 두 가지 경우에는 등화기 적용 여부에 대한 성능의 변화는 없는데, 이것은 OFDM 심볼 전송 시 삽입한 1/4 보호구간에 의해 심볼간 간섭이 거의 제거되었기 때문이며, 또한 채널의 지연 시간보다 심볼의 주기가 길기 때문에 채널에 대한 영향을 거의 받지 않았기 때문이다.

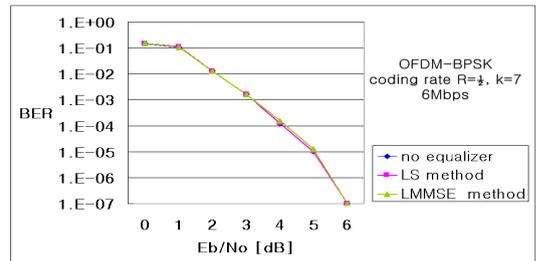


그림 4. 6Mbps-DSRC 시스템의 BER 특성  
Fig. 4. BER characteristics of 6 Mbps-DSRC system.

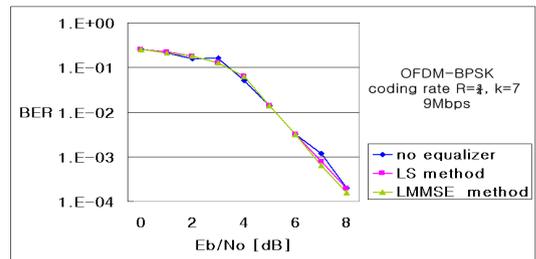


그림 5. 9Mbps-DSRC 시스템의 BER 특성  
Fig. 5. BER characteristics of 9 Mbps-DSRC system.

다음 그림 6-8은 각각 12 Mbps/18 Mbps/24 Mbps에서 등화기를 적용했을 때의 성능을 보이고 있다.

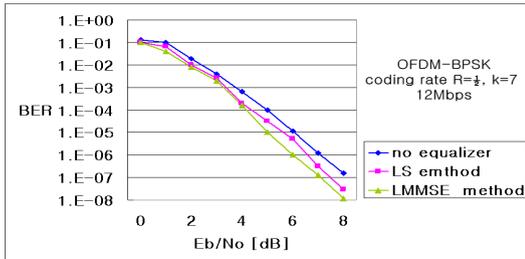


그림 6. 12Mbps-DSRC 시스템의 BER 특성  
Fig. 6. BER characteristics of 12 Mbps-DSRC system.

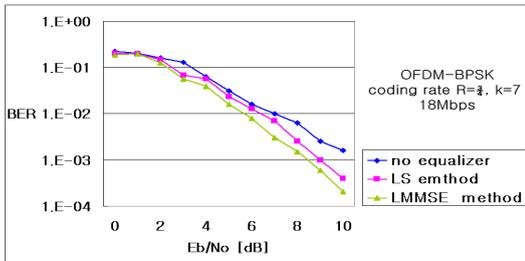


그림 7. 18Mbps-DSRC 시스템의 BER 특성  
Fig. 7. BER characteristics of 18 Mbps-DSRC system.

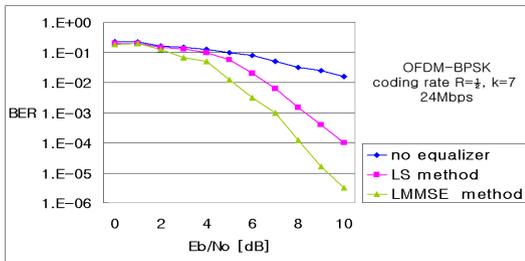


그림 8. 24Mbps-DSRC 시스템의 BER 특성  
Fig. 8. BER characteristics of 24 Mbps-DSRC system.

동일한 채널 환경에서 데이터의 전송속도가 빨라질수록 ISI의 영향이 심각해지며, 24Mbps 급의 경우는 등화기를 적용하지 않을 경우는  $10^{-3}$ 의 BER도 얻기 힘들다.

시뮬레이션을 통해 전송속도 6Mbps와 9Mbps는 등화기에 의한 성능 향상이 거의 없음을 알 수 있으며, LS 방식과 의사 LMMSE 방식을 적용한 경우 고속 무선 LAN 시스템에서  $E_b/N_0$  값이 증가할수록 의사 LMMSE 방식이 LS 방식보다 성능이 우수해짐을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 주파수 선택성 페이딩 채널 환경에서 OFDM 기반 DSRC 시스템을 설계하고 의사 LMMSE 등화기법을 사용하여 LS 등화기법을 사용한 시스템과 그 성능을 비교·분석하였다.

DSRC 채널은 RSE와 OBE간 거리가 100m 이하의 근거리 통신을 위주로 하기 때문에 항상 가시거리가 존재하는 라이시안 채널이고 전송속도가 클수록 주파수 페이딩 채널이 되므로, 이러한 채널 환경을 극복하기 위하여 OFDM 방식을 사용하였다. 그러나 데이터의 전송속도가 6Mbps~24Mbps로 고속이고, 또한 rms 지연 확산이 150 ns인 경우와 같은 차세대 DSRC 채널의 경우 보호구간만으로는 심볼간 간섭을 완전히 제거할 수 없게 된다. 따라서 성능 개선을 위해 채널 코딩을 하거나 또는 등화기를 사용한다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 6Mbps/9Mbps의 경우, 등화기에 의한 성능 향상은 거의 없었으며, 12Mbps/18Mbps의 경우도 코딩으로 심볼간 간섭을 제거함으로써 등화기의 필요성이 비교적 적었다. 그러나 24Mbps의 OFDM 기반 16-QAM 방식의 경우는 코딩을 1/2을 사용하였음에도 불구하고 만족할만한 성능을 얻지 못하는데 이 경우 등화기를 사용하면 월등한 성능의 개선 효과를 얻을 수 있었으며, 특히 802.11a에서 규정하고 있는 LS 기법의 등화기보다 의사 LMMSE 기법의 등화 기법을 적용하였을 경우 성능이 더욱 향상됨을 알 수 있었다.

$E_b/N_0$ 가 4dB일 때, 12/18/24Mbps의 시스템에서 LS 등화기법에 비하여 의사 LMMSE 등화기법의 성능이 각각 1dB/1.5dB/3dB가 개선되었으며,  $E_b/N_0$ 가 8dB일 때는 각각 3dB/3.5dB/10dB의 성능이 향상되어,  $E_b/N_0$  값이 증가할수록 의사 LMMSE 방식이 LS 방식보다 성능이 우수해짐을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] 한국향행학회, "10 Mbps 패킷 데이터 전송을 위한 무선채널 환경 연구," 한국향행학회 최종 연구보고서, 2001.
- [2] Y.H. Kim, I. Song, H.G. Kim, T.J. Chang and H.M. Kim, "Performance Analysis of a Coded OFDM system in Time varying Multipath Rayleigh Fading Channels," *IEEE*

