

# 지능형 교통 시스템을 위한 Turbo Code OFDM 적용한 가시광 통신 시스템에 관한 연구

## A Study on Visible Light Communication with Turbo Coded OFDM for Intelligent Transport Systems

구 성 완\*                      김 진 영\*\*  
(Sung-Wan Koo)              (Jin-Young Kim)

### 요 약

최근에, LED를 사용한 WPAN 응용 기술에 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만, LED를 이용한 가시광 통신은 통신을 수행하는데 약점을 가지고 있다. 시스템 성능을 저하시키는 요인으로 통신 환경에서 다른 물체에 의한 전파 지연으로 발생하는 다중 경로 페이딩을 들 수 있다. 따라서 본 논문에서 OFDM 기술은 다중 경로 페이딩과 분산을 줄이고, 고속 데이터 전송을 제공하기 위해서 적용하였다. 게다가, 광잡음에 의한 정보 손실을 줄이기 위해서 채널코딩으로써 터보 부호화 기술을 사용하였다. OFDM과 터보 부호화를 적용하므로써, 약 4 [dB] 정도의 성능향상을 보임을 알 수 있었다. 또한, 도플러 효과가 일어난다고 가정하였을 경우, 시스템 성능이 저하됨을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

### Abstract

In the ubiquitous age, applications of wireless personal area network (WPAN) technology using LEDs are in progress. However, visible light communications (VLC) using the LEDs have weakness which deteriorate performance of communication because of multi-path fading that occurs propagation delay by interior walls or other things in indoor environments. In this paper, orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) scheme is adapted to decrease multi-path fading and multi-path dispersion and to provide high speed data transmission. Besides, to reduce information losses caused by optical noise (incandescent lamps, fluorescent lamps, sunbeam etc.) also proposed channel coding using turbo codes. The encoding and decoding of the proposed system is described, and simulation results are analyzed. We can know that performance of proposed system is increased about 4 [dB] through the simulation results. Also, when the system take doppler effect, the system performance worsened

**Key words:** Visible light communication, VLC, turbo codes, double binary turbo codes, max-log MAP, doppler shift

## I. 서 론

최근 무선통신의 급격한 발달로 인해 사용자는 언

제, 어디서나 사용자가 원하는 시간에 유·무선 음성 및 데이터 서비스를 받기를 원하고 있고 이에 따라 사업자는 서비스를 제공하기 위한 무선통신 기술

† 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [ 10035264, LED-ID 기반 홈네트워크 기술개발]

\* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

\*\* 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수

† 논문접수일 : 2010년 1월 19일

† 논문심사일 : 2010년 3월 31일

† 게재확정일 : 2010년 4월 9일

에 관심을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 지능형 교통 시스템 (ITS : Intelligent Transport System)에 최근 차세대 무선통신 기술로써 주목받고 있는 가시광 통신 (VLC : Visible Light Communication) 기술을 적용해보고자 한다.

ITS는 자동차, 기차, 버스 등 기존의 교통 시스템에 전자, 통신, 제어 등의 지능형 기술을 접목시켜 효율성과 안정성을 제고하기 위한 차세대 교통시스템이다. 안전하고 쾌적한 교통시스템을 구현하는데 목적을 두고 있는 ITS는 실용화를 위해 도로 환경에 적합한 무선통신 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기에 교통 시스템에 사용되고 있는 LED 조명 인프라를 활용하여 통신을 할 수 있다면 향후 ITS 구축에 중요한 기술로 사용될 것으로 생각된다 [1].

VLC 기술은 LED를 이용한 통신 기술이다. LED는 반도체에 의한 빛 발광을 하여 조명과 멀티미디어 통신 서비스를 동시에 제공할 수 있다 [2]. 환경 파괴 문제, 긴 수명, 전기 효율 향상 등 장점을 가지고 있어 조명 인프라를 이용하여 통신 환경을 조성한다면 경제적 이득 효과를 가져 올 수 있다 [3,4]. 반면에, 강한 지향성과 직진성을 갖고 있기 때문에 장애물 투과력이 약해서 Line of Sight (LOS) 조건이 요구되며, 짙은 안개에 대해 감쇠 현상이 일어나 제 기능을 발휘하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 채널 부호화 기술을 사용하고자 한다.

OFDM은 DAB (Digital Audio Broadcasting)와 DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) 등의 표준에 채택되어 있는 기술로 기본적으로 병렬 데이터 전송 방식으로 MCM (Multi-Carrier Modulation)을 구현한 기술이기 때문에 다중 경로 페이딩을 줄일 수가 있어 고속 데이터 전송 따른 ISI (Inter-symbol interference)를 제거하기 위해 제안된 무선통신 변조 방식이다. 효율적인 스펙트럼 사용이 가능하며 Frequency Selective Channel에 강한 장점이 있다 [5].

무선통신 환경에서 채널 부호화 기술은 통신 환경을 개선시키기 위해 필수적이다. 채널 부호화 방법인 터보 부호는 무선통신 환경에서 발생하는 오류를

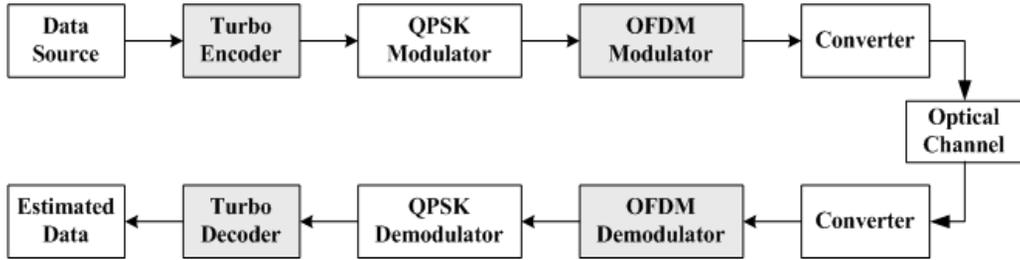
최소화하고자 하는 요구를 충족시키기 위해서 Berru 등에 의해 제안된 채널 부호화 기술이다. 이 기술은 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 환경에서 비교적 간단한 복호 알고리즘을 가지면서 18번의 반복 복호시에 Shannon 성능과 0.7dB 차이를 갖는 낮은 신호 대 잡음비 (SNR : Signal to Noise Ratio)에서 비트 오류율 (BER : Bit Error Rate) 이  $10^{-5}$ 이라는 획기적인 성능을 보임으로써 많은 관심을 불러 일으켰다 [6]. 그 후 터보 부호화 기법은 페이딩 채널 상에서도 신뢰성을 보장할 수 있는 강력한 부호화 기법임이 입증되었다.

본 논문에서는 차량과 차량 간의 통신할 때 태양광 등 잡음이 있는 채널에서 전송 거리를 늘리고 채널에 의한 정보의 손실을 줄이기 위해서 채널 부호화 기술인 터보 부호화 기술과 Frequency Selective Fading에 강한 OFDM 기술을 기존의 가시광 통신 기술에 적용하였다. 거기에다가 빠른 속도로 움직이는 차량과의 통신에서 물체들의 속도에 의하여 중심 주파수가 조금씩 달라지는 현상인 도플러 효과의 영향을 고려하여 성능을 분석하고자 한다.

본 논문은 아래와 같이 구성되어 있다. 2장에서는 제안한 시스템 모델과 기술을 살펴보고, 제 3장에서는 제안한 시스템에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴본다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

제안된 터보 부호화된 OFDM 시스템 모델은 <그림 1>과 같다. 이 시스템에서 송신단에서 데이터 비트들은 이중 이진 터보 부호기 (Double-binary CRSC Encoder : Double-binary Circular Recursive Systematic Convolutional Encoder)단에 들어가고 평처링된 데이터 비트들을 QPSK로 변조한다. 변조된 데이터는 OFDM 변조를 거쳐 아날로그 신호로 변환되어 송신한다. 무선 광 채널을 통과한 신호는 수신단에 들어와 OFDM 복조 된다. 복조된 데이터는 Max-Log MAP (Maximum a Posteriori) 알고리즘을 사용하여 복호화를 수행한다.

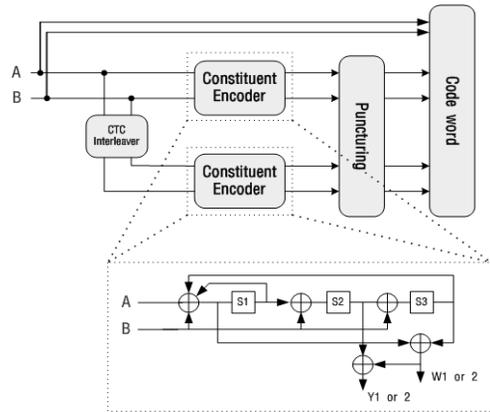


<그림 1> 제안한 시스템 모델  
<Fig. 1> A proposed system model

## 1. 송신단

### 1) 이중 이진 터보 부호

1999년 Berrou 등에 의해 제안 되었으며, 기존의 이진 터보 부호에 비해 개선된 오류 정정능력과 빠른 복호 속도를 보이는 <그림 2>와 같은 이중이진 터보 부호기를 사용한다. 부호화될 데이터 비트들은 A와 B로 교대로 입력된다. 비트열의 MSB (Most Significant Bit)가 A로 입력되고 다음 비트가 B로 입력되는 반복 과정을 거치는 이중 이진 터보 부호는 정보 블록 내의 두 개의 데이터 비트들을 묶어 하나의 심볼로 형성한 후 부호화 및 복호화 과정을 수행한다 [6,7].



<그림 2> 이중 이진 터보 부호기  
<Fig. 2> Double binary turbo codes encoder

Convolutional 코드는 복호단에서 복호 성능을 향상시키기 위해서 초기 State와 마지막 State를 부호기와 복호기가 알고 있어야 한다 [8]. 그래서 Redundancy Bit를 붙여서 보내주게 되었는데 그 결과 전송율의 감소를 가져왔다. 이를 해결하기 위해 Tail Biting 알고리즘을 사용한다 [9]. 다른 한 개의 CRSC 부호화기에는 CTC 인터리버를 거친 데이터 열이 들어가야 한다. CTC 인터리버는 P0, P1, P2, P3 파라미터들을 이용한다. 부호화에 따라 평처링을 거친 후 페리티 비트 Y1, W1, Y2, W2를 구한다.

### 2) OFDM 변조

OFDM은 Chang에 의해서 인접 심볼간 간섭 없이 동시에 전송할 수 있는 원리로 제시되었다. 여기에 1971년 Weinstein과 Ebert에 의해서 FFT/IFFT을 이용하여 간단히 고속으로 처리할 수 있게 되었다. 최근에 한정된 주파수 자원에 고속 데이터 전송을 요구로 하기에 DAB,

DVB IEEE 802.11a 등 널리 사용되고 있다 [10].

부호화기를 거친 부호화된 데이터 비트 C1과 C2 들을 I 채널과 Q 채널로 식 (1)과 같이 QPSK 방식으로 변조한다.

변조된 신호는 IFFT의 블록 단위로 처리된다. IFFT에 의해서 처리된 데이터는 채널에 의해 발생하는 ISI를 제거하기 위해 보호구간을 심볼 앞에 삽입한다. 이때 심볼의 마지막에 보호구간 만큼 복사하여 앞에 삽입하는 것을 Cyclic Prefix (CP)라 한다.

$$\begin{aligned}
 00 &\Rightarrow 1+j & 10 &\Rightarrow -1+j \\
 11 &\Rightarrow -1-j & 01 &\Rightarrow 1-j.
 \end{aligned} \tag{1}$$

## 2.무선 광 채널

본 논문에서는 가시광을 이용하여 통신을 하기

때문에 무선 광 채널을 고려한다. 채널 모델은 Barry 등에 의해서 제안된 채널 모델을 적용한다 [11]. LOS 인 경우에 반사가 없으며 수신단의 크기 AR은 송·수신단의 거리 R에 비해 상당히 작다고 가정한다. 채널 임펄스 응답은 Dirac delta function으로 간략히 표현할 수 있다.

$$h(t;S,R) \approx \frac{n+1}{2\pi} \cos^n(\psi) d\Omega \text{rect}\left(\frac{\theta}{FOV}\right) \delta\left(t - \frac{R}{c}\right), \quad (2)$$

여기서,  $d\Omega$ 은 수신단의 미소 면적의 입체각이다.

$$d\Omega \approx \cos(\theta) \frac{A_R}{R^2}, \quad (3)$$

$\theta$ 는  $\hat{n}_R$ 과  $(r_S - r_R)$  사이의 각도로

$$\cos(\theta) = \hat{n}_R \cdot \frac{(r_S - r_R)}{R}, \quad (4)$$

$\psi$ 는  $\hat{n}_S$ 와  $(r_R - r_S)$  사이의 각도로

$$\cos(\psi) = \hat{n}_S \cdot \frac{(r_R - r_S)}{R}, \quad (5)$$

$n$ 은 모드 넘버로 송신단의 Half-angle  $\alpha_H$ 로 계산할 수 있다.

$$\alpha_H = \cos^{-1}(0.5)^{\frac{1}{n}} \Rightarrow n = \frac{\log 0.5}{\log(\cos \alpha_H)} \quad (6)$$

본 논문에서 잡음 모델은 AWGN으로 가정한다. 일반적으로 무선 광 채널에서는 전송 품질은 산탄 잡음에 의존한다. 하지만, 수신단에서 협대역 광 필터를 사용하기 때문에 높은 차수를 가지는 산탄 잡음을 무시할 수 있다. 따라서 무선 광 통신 채널 모델은 다음과 같이 표현한다.

$$y(t) = r \cdot x(t) \otimes h(t) + n, \quad (7)$$

여기서,  $y(t)$ 는 수신된 신호,  $x(t)$ 는 입력 신호,  $n(t)$ 는 AWGN,  $r$ 은 optical/electric (O/E) 변환 효율,  $\otimes$ 은 컨볼루션 연산이다.

송·수신단의 움직임에 따른 도플러 효과를 고려하고자 한다. 이동 중인 차량 간의 통신은 도플러 효과로 인한 영향을 받는다. 이러한 영향은 대역폭을 변화시키고 결국, 시스템 성능 저하라는 결과를 일으킨다 [12]. 따라서, 본 논문은 도플러 효과를 고려하고자 한다. 도플러 효과를 고려한 주파수 변화는 다음과 같다 [13].

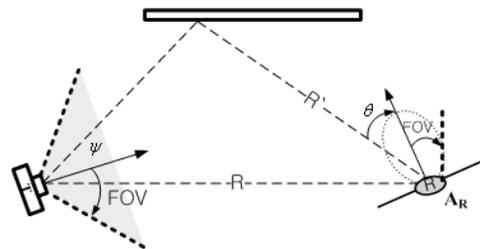
$$f = f_c + f_d, \quad (8)$$

신호의 중심 주파수를  $f_c$ 라 하고  $f_d$ 는 주파수 변화를 나타낸다.  $f_d$ 는 다음과 같은 성분을 가진다.

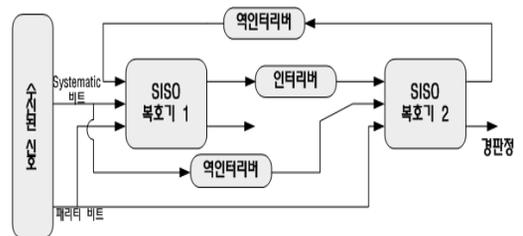
$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta), \quad (9)$$

여기서  $\theta$ 는 송·수신단의 각도를  $v$ 는 수신단의 이동속도를  $\lambda = c/f_c$ 를 나타낸다. 다시 정리해보면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta) + f_c. \quad (10)$$



<그림 3> 확산형 LOS 링크 모델  
<Fig. 3> Diffused LOS link model



<그림 4> 반복 터보 부호의 복호기 구조  
<Fig. 4> Decoder structure of double binary turbo code

### 3. 수신단

#### 1) OFDM 복조

채널을 통해 들어온 데이터는 수신단으로 들어온다. 수신된 데이터는 ISI의 영향을 줄이기 위해 삽입한 CP를 제거 한다. 제거된 데이터 열은 FFT 연산하여 QPSK 복조를 한다.

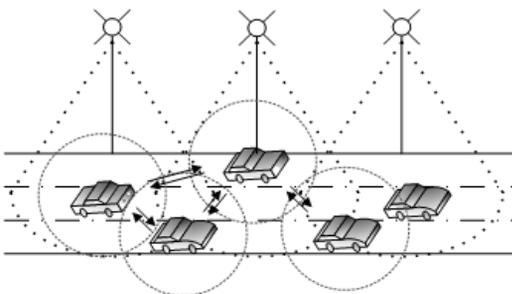
#### 2) 터보 복호 알고리즘

<그림 7>은 터보 부호의 복호기 구조를 나타낸 것으로 복호기 두 개와 인터리버, 역인터리버가 직렬로 연결되어 구성되어 있다. 터보 복호기는 사전 정보 (a priori probability)와 수신된 정보들에 대한 복호를 반복하고 사후 정보 (a posteriori probability)와 부가 정보들로 복호를 반복하여 원하는 값을 출력한다 [14].

본 논문에서는 터보 부호의 복호 알고리즘으로 Max-Log MAP 알고리즘을 사용한다. MAP 방식이란 사후 정보를 최대화 하는 데이터 심볼을 LLR (Log Likelihood Ratio)을 이용하여 찾아내는 방식이다. 여기에 계산량을 줄이고 복호 과정중의 부동 소수 연산 오류를 피하기 위해 사후 정보, 사전 정보, 부가 정보의 연산을 로그를 취하여 계산하는 알고리즘이 Max-Log MAP 알고리즘이다 [15].

### III. 모의실험 결과

이 절에서는 <그림 3>과 같이 Diffused LOS 환경에서 ITS 환경을 위한 가시광 통신 시스템의 성능을



<그림 5> ITS를 위한 가시광 통신 시스템 모델  
<Fig. 5> Visible light communication systems model for ITS

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

<Table 1> System parameters

파라미터	값
채널 부호	이중 이진 터보 부호
복호 알고리즘	Max-log MAP
부호율	1/3, 2/5, 1/2, 2/3
변조 방식	QPSK
FFT 크기	64
보호구간 (CP)	16
수신단의 FOV	60°
Half-angle	30°
수신단의 검출기 면적	1cm <sup>2</sup>
O/E 변환 효율	0.53[A/W]
무선 광 채널	Diffused LOS(AWGN)
부호율	1/3
Sampling time	0.1us
Block size	64.0us
차량 속도	100km/h, 130km/h

분석한다. <표 1>은 시뮬레이션을 위한 파라미터를 나타낸다.

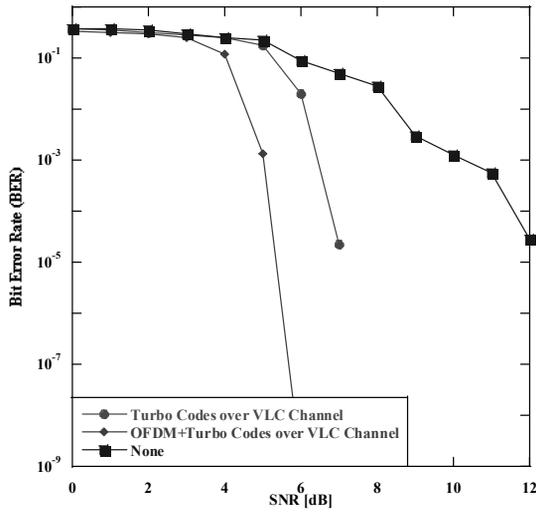
<그림 5>의 경우는 실제 ITS 환경에서 가시광 통신 시스템이 사용하였을 경우에 환경을 예측 묘사한 그림이다.

입력 데이터 비트 수는 424로 터보 부호로 5번의 반복 복호를 수행한다. FFT 크기는 64이고 CP의 길이가 FFT 크기의 1/4로 16이다. 부호율이 1/3일 때, 부호화된 블록 사이즈는 640임을 알 수 있다.

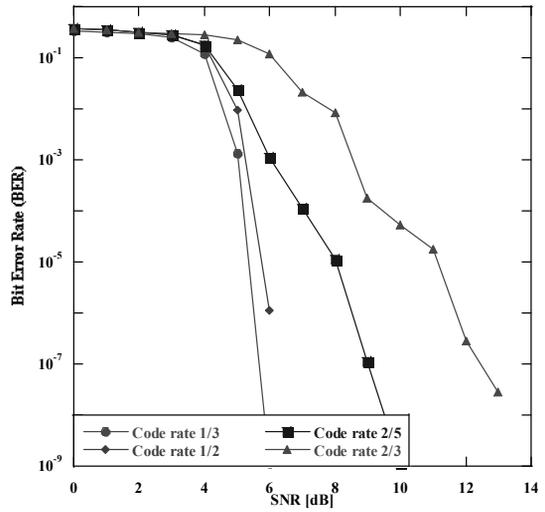
<그림 6>은 터보 부호와 OFDM를 적용했을 때 성능 향상이 어느 정도 일어났는지를 비교할 수 있는 그래프이다. 본 그래프에서 OFDM과 터보 부호를 적용할 경우 약 4[dB] 정도의 성능 향상이 일어남을 알 수 있었다. OFDM을 사용함으로써 다중경로에 의한 문제를, 터보 부호를 사용함으로써 통신 환경 왜곡의 문제를 해결 가능성을 보임을 알 수 있다.

<그림 7, 8>은 터보 부호 부호율에 따른 BER 그래프로 부호율이 증가할수록 성능이 저하됨을 알 수 있다.

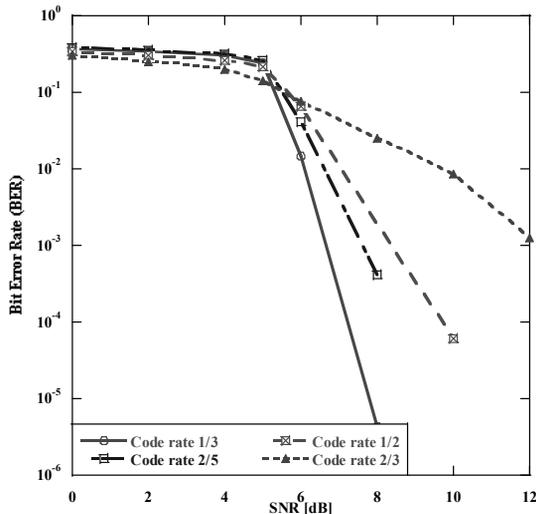
<그림 9>는 도플러 효과가 일어날 경우를 고려한 BER 성능을 나타냈었다. 차량의 속도가 증가할수록



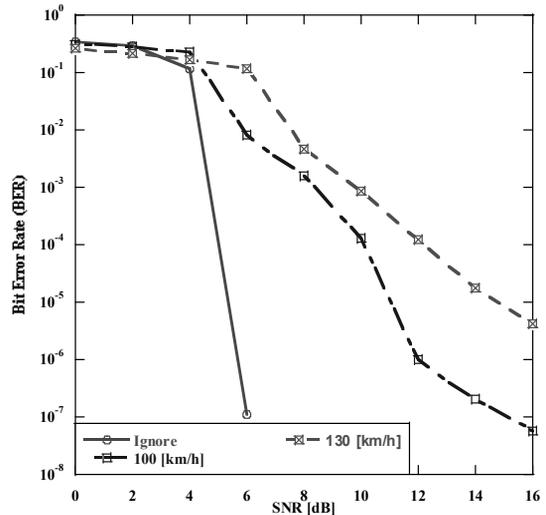
<그림 6> 채널에 따른 BER 그래프  
 <Fig. 6> BER of channel models



<그림 8> 터보 부호와 OFDM를 적용한 시스템에서 부호율에 따른 BER 그래프  
 <Fig. 8> BER of code rates with turbo codes and OFDM



<그림 7> 터보 부호를 적용한 시스템에서 부호율에 따른 BER 그래프  
 <Fig. 7> BER of code rates with turbo codes



<그림 9> 차량 속도에 따른 BER 그래프  
 <Fig. 9> Considering doppler shift, BER of velocity

주파수 천이 문제가 발생하여 BER 성능이 저하됨을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 ITS 시스템에서 차량 간의 통신에

터보 부호화 OFDM를 적용하여 그 성능을 비교하였다. 본 논문의 실험을 통해서 다시 한 번 채널 부호화 기술에 강력함과 필요성을 보여주었다. OFDM 기술 또한 고속 데이터 통신과 다중경로 문제를 해결하기 위해서 필요한 기술이라는 것을 알 수 있었다. 또한, Doppler shift의 영향이 없는 상황에 비해 빠른

속도로 이동하는 차량 간의 통신에서는 Doppler shift의 영향으로 효과를 무시했을 때보다 3 [dB] 정도의 차이를 실험 결과를 통해 알 수 있었다. 따라서 차량 속도에 의한 Dopple 효과에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

ITS에 가시광 통신 시스템을 실제로 적용하기 위해서는 앞으로도 채널 분석, 물리적 장치 개발 등 꾸준한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 실외 환경에서의 통신환경을 악화 시키는 광원에 의한 간섭 제거 분야에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim, *Intelligent Transport System*, GS Intervision Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [2] J. Y. Kim, *Visible Light Communication Systems*, Hongreung Science Publishers, Seoul, Korea, 2009.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol.50, no.1, pp. 100 - 107, Feb. 2004.
- [4] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol.50, no.1, pp. 100 - 107, Feb. 2004.
- [5] J. Heiskala and J. Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sams Publishing, 2002.
- [6] Berrou, A. Glavieux and P. Thitimajshima, "Near shannon limit error-correcting coding: turbo codes," in *Proc. of IEEE ICC'93*, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, Jun. 1993.
- [7] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 1261-1271, 1996.
- [8] C. Douillard, M. JkzCquel, C. Berrou, N. Brengarth, J. Tousch and N.Pharm, "The turbo code standard for DVB-RCS," in *Proc. 2nd Int. Symp. on Turbo Codes Brest*, France, Sep. 2000.
- [9] J. B. Anderson and S. M. Hladik, "Tail-biting MAP decoders," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 16, no. 2, pp.297-302, Feb. 1998.
- [10] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete fourier transform," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 19, pp. 628-634. Oct. 1971.
- [11] M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communications," in *Proc. IEEE*, vol. 85, pp. 265-298, Feb. 1997.
- [12] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, IEEE Press, Piscataway, NJ, Feb. 1996.
- [13] P. Robertson and S. Kaiser, "The effects of doppler spreads in OFDM(A) mobile radio systems," *Proc. VTC.*, pp. 329-333, 1999.
- [14] J. P. Woodard and L. Hanzo, "Comparative study of turbo decoding techniques: an overview," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 49, no. 6, pp. 2208-2233, 2000.
- [15] P. Robertson, P. Hoehner and E. Villebrun, "Optimal and sub-optimal maximum a posteriori algorithm suitable for turbo decoding," *Eur. Trans. Telecommun*, vol. 8, no. 2, pp. 119-125, Mar. 1997.

저자소개



**구 성 완 (Koo, Sung-Wan)**

2008년 : 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
2010년 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2010년 ~ 현재 : 한백전자 기술연구소 연구원



**김 진 영 (Kim, Jin-Young)**

1998년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사  
1999년 : 미국 Princeton University, Research Associate  
2000년 : SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원  
2009년 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist  
2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수