

# 터널 환경에서 위성 DMB 시스템 E의 BER 성능

준회원 조 한 신\*, 김 도 윤\*, 정회원 문 철\*\*, 육 중 관\*

## BER Performance for Satellite DMB System E in Tunnel Environment

Han-shin Jo\*, Do-youn Kim\* *Associated Members*, Cheol Mun\*\*, Jong-gwan Yook\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 터널환경에서 위성 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 시스템의 BER 성능을 예측하기 위한 방법 및 결과를 제시하였다. 이 방법은 ray-tracing 기법을 이용해 얻을 수 있는 특정지역에 대한 채널 모델을 기반으로 하기 때문에 레일리 및 라이시안 확률 분포와 같은 기존의 수학적 모델과 통계적 특성이 일치하지 않는 임의의 페이딩 채널에 대한 BER 특성을 예측할 수 있는 장점을 갖는다. ray-tracing 방법을 이용하여 얻은 터널 페이딩 채널 데이터를 몬테카를로 방법을 이용한 BER 시뮬레이션에 적용하였다. 세 종류의 터널환경 모두 BER 성능은 레일리 페이딩(K=0) 일 때 보다 우수하고 K=3일 때 보다 열악하였다. 또한 위성 DMB 시스템 E의 요구 BER인 0.001을 기준으로 하였을 때의  $E_b/N_0$ 는 레일리 페이딩 채널과 터널 페이딩 채널 사이에 1~1.5 dB 정도의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : BER, ray-tracing, tunnel environments, Satellite DMB System E, monte-carlo method.

### ABSTRACT

A different alternative method for simulating bit error rate(BER) performance of Satellite Digital Multimedia Broadcasting(DMB) in tunnel environments is presented. The method based on a channel model obtained by ray-tracing is able to support BER estimation over the channel presents arbitrary statistics that are difficult to fit to an analytic expression. The BER performance for System E over the tunnel fading channel that obtained by ray-tracing is predicted by the monte-carlo method. It can be observed that the BER performance for a straight tunnel channel is better than that for a line-of-sight(LOS) area in curved tunnel. Also, the BER performance for LOS areas in a curved tunnel outperforms that for non-line-of-sight(NLOS) areas in a curved tunnel. The BER performances for straight, curved LOS and curved NLOS tunnel channels are better than that for a Rayleigh channel(K=0) and less than that for a Rician channel with K=3. Moreover, for BER=10<sup>-3</sup>, it can be seen that there is approximately a 1~1.5 dB difference between those three types of tunnel channels and a Rayleigh channel.

### I. 서 론

이동 통신 채널은 산, 빌딩, 차량, 사람 등과 같은 산란체의 분포 형태에 따라 다양한 특성을 갖는

다. 즉 송수신 시스템이 위치한 환경에 따라 페이딩 채널은 다양한 통계적 특성을 보인다 따라서 페이딩 채널을 수학적 모델로 일반화 시키기 위한 연구가 선행되어 왔으며, 그 결과 레일리, 라이시안, 나

\* 연세대학교 전기전자공학과 전파통신 연구실(gminor@yonsei.ac.kr), \*\* 충주대학교 전기전자정보공학부  
논문번호 : KICS2004-09-195, 접수일자 : 2004년 6월 8일

카가미 등의 확률분포를 갖는 모델이 정립되었다 [11-13].

일반적으로 무선 이동 환경에서 통신시스템의 성능을 예측하기 위해 레일리 또는 라이시안 페이딩을 갖는 채널을 가정하여 bit error rate(BER) 시뮬레이션을 수행한다. 그리고 레일리나 라이시안 확률분포는 실제로 다양한 채널 환경에서의 페이딩 현상을 모사할 수 있는 방법 중의 하나이다. 그러나 레일리나 라이시안 확률 분포로 근사화 할 수 없는 페이딩 채널도 많이 존재한다. 또한 레일리나 라이시안 분포에 정확히 일치하는 페이딩 채널이 존재하더라도 level crossing rate(LCR)이나 average fade duration(AFD)와 같은 2차 통계 특성은 다를 수 있다<sup>[15]</sup>. 따라서 본 논문에서는 보다 정확하고 간편하게 BER 성능을 예측하기 위해 ray-tracing을 이용하여 페이딩 채널 데이터를 수집한 뒤 이를 직접 BER 시뮬레이션에 적용하는 기법을 이용하였다. 그리고 이 방법을 이용하여 터널 환경에서 위성 DMB 시스템 E의 BER 성능을 예측하였다.

## II. 위성 DMB 시스템 E

시스템 E는 방송용 위성과 지상의 중계기를 이용해 이동 및 정지 사용자에게 고품질의 음성과 동영상 제공을 하는 방송 서비스이다. 이 서비스는 위성 방송용으로 할당된 2630-2655 MHz대역을 이용한다. 지상의 콘텐츠 제공자로부터 방송용 위성으로 보내진 신호는 직접 또는 gap filler를 거쳐 지상의 사용자에게 전송된다. 이때 gap filler는 주위 환경에 의해 위성 신호가 미약하게 도달하는 음영지역에 서비스가 가능하도록 위성으로부터 수신된 신호를 증폭하거나 주파수 대역을 변환시키는 중계기 기능을 한다<sup>[6]</sup>.

시스템 E의 송수신단 구조는 그림 1과 같다. 방송을 위한 아날로그 영상 음성 정보는 디지털 신호로 변환되고 이 디지털 신호는 RS 인코더, 바이트 단위 인터리버, 콘볼루션 인코더, 비트 단위 인터리버 순으로 오류방지 및 정정을 위한 채널 코딩 과정을 겪는다. 그 후 신호는 I, Q 채널을 통과하며 각 채널에서 동일한 Walsh code와 PN sequence로 확산되고 QPSK 방식으로 변조된다. 즉 동일한 대역 및 중심주파수를 갖는 여러 신호를 Walsh code를 이용해 구분한다. 각각의 변조된 신호는 최종적으로 code division multiplexing(CDM) 과정을 통해 다중화되어 송신된다. 수신된 신호는 Demultiplexing

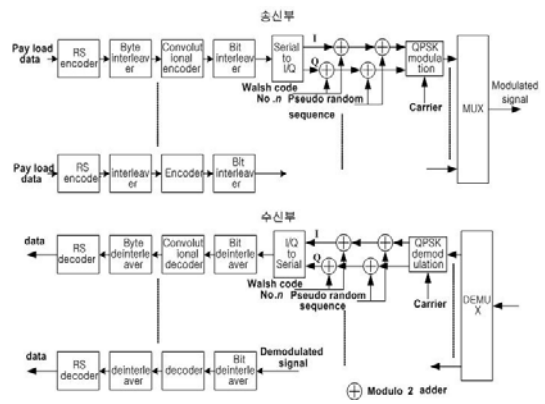


그림 1. 위성 DMB 시스템 E 구조

과정을 거친 뒤 QPSK 방식으로 복조된 후 I, Q 채널에서 각각 Walsh code와 PN sequence로 역확산된다. 이후 비트단위 디인터리버, 비터비 디코더, 바이트단위 디인터리버, RS 디코더 순으로 채널 디코딩 과정을 겪는다.

## III. 모의 실험 과정

### 3.1 시뮬레이터 개요

BER을 예측하기 위한 모의 실험 과정은 전파전파 시뮬레이션과 BER 시뮬레이션으로 구성된다. 우선 ray-tracing 기법을 이용한 터널내의 전파전파 시뮬레이션을 수행하여 수신전력을 얻는다<sup>[16]</sup>. 그리고 수신전력 값으로부터 fast fading 데이터를 추출하여 BER 시뮬레이션을 위한 페이딩 채널을 생성한다. 또한 resolvable path의 수신전력 값을 이용하여 BER 시뮬레이션에 이용할 다중경로의 수를 결정한다. 최종적으로 페이딩 채널과 다중경로 수를 적용하여 BER 시뮬레이션을 수행한다.

그림 2는 BER 시뮬레이터의 구조이다. 위성 DMB 시스템 E의 송신 신호  $s(t)$ 가 채널을 통과하여 수신되는 신호  $y(t)$ 는 다음과 같다.

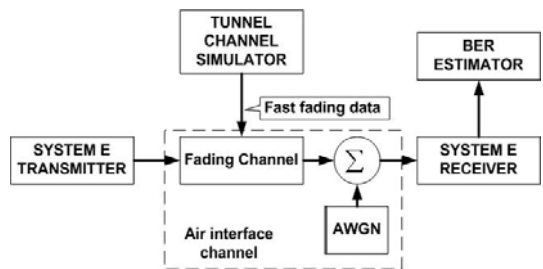


그림 2. BER 시뮬레이터의 구조

$$y(t) \approx \sum_{n=0}^N \alpha_n e^{j\theta_n} s(t) + n(t) = H \cdot s(t) + n(t) \quad (1)$$

위 식에서  $H$ 는 fast fading 데이터로서 순시적인 채널이득을 의미하며  $n(t)$ 는 additive white gaussian noise(AWGN)이다. 기존의 BER 시뮬레이션의 경우  $H$ 는 레일리, 라이시안, 나카가미 확률분포를 갖도록 랜덤하게 발생되었으나 본 논문에서는 ray-tracing을 이용하여 터널환경에 대한  $H$ 표본을 발생하였다.

### 3.2 페이딩 채널의 생성 및 유효한 다중경로의 수 결정

모의 실험에 이용한 터널은 평면이 직선인 형태와 곡선인 형태로 구분되며 두 터널모두 단면의 모양은 직사각형이다. 편의상 횡면이 직선인 터널을 직선터널, 곡선인 터널을 곡선터널이라 칭한다. 터널 채널의 페이딩 특성을 분석하기 위해 터널의 크기와 곡률반경 및 송수신단의 위치를 그림 3과 같이 설정하고 수신기의 위치를 변화시키며 수신전력을 얻어 이로부터 fast fading 데이터를 추출한다. 가시영역의 경우 송수신단간의 거리  $D$ 를 1m부터 130m까지 5cm 간격으로 증가시키며 수신전력 값을 얻었으며, 비가시영역의 경우  $D$ 를 200m부터 330m까지 5 cm 간격으로 변화시키며 수신전력 값을 얻었다. 그리고 수신전력을  $40\lambda$  간격으로 평균을 취해 수신신호의 slow fading 을 얻고 수신신호로부터 slow fading을 제거하여 fast fading을 얻는다<sup>[10]</sup>.

시스템 E의 1칩 간격은 61 ns이므로 excess delay 을 61 ns 간격으로 나누어 각 시 간격 내에 도달하는 레이의 수신전력을 더한다 이를 통해 칩 간격만큼 지연되어 도달하는 레이들의 수신전력을 산출할 수 있으며 그림 4, 그림 5는 이를 나타낸다

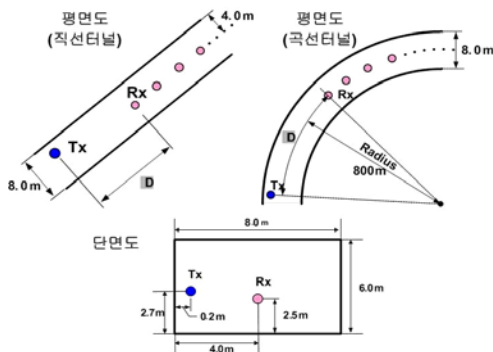


그림 3. 터널의 구조와 송수신단 위치

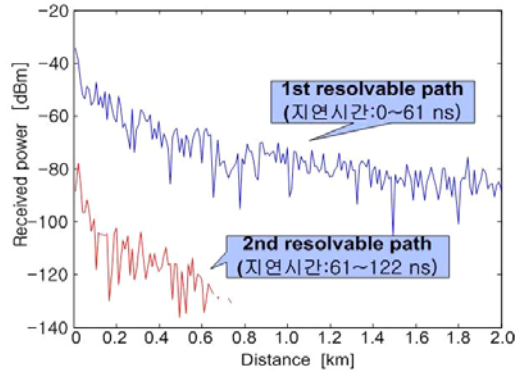


그림 4. 직선 터널에서 resolvable path의 수신전력

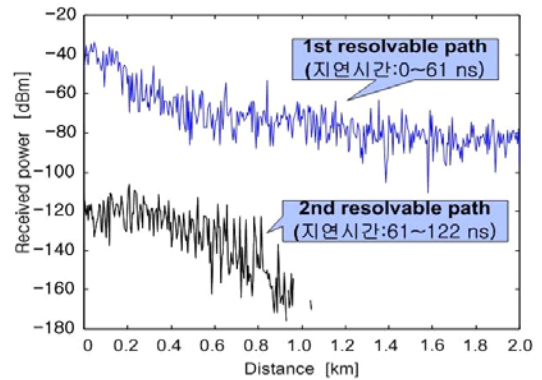


그림 5. 곡선 터널에서 resolvable path의 수신전력

첫번째 칩시간(0~61 ns) 동안 수신되는 레이의 수신전력과 두번째 칩시간(61~122 ns) 동안 수신되는 전력의 비는 최소 55 dB에서 80 dB까지의 분포를 보인다. 즉 second resolvable 경로의 수신전력은 first resolvable 경로의 수신전력보다 최소 55 dB 작기 때문에 대부분의 신호가 첫번째 칩시간 내에 도달한다고 볼 수 있다. 따라서 다중경로의 수를 2 이상 증가하여도 BER 성능은 거의 향상되지 않을 것으로 예측할 수 있다

## IV. 실험 결과

터널 내에서 위성 DMB 시스템 E의 BER 특성을 알기 위해  $L$ (다중경로의 개수)=2,  $M$ (레이크 핑거의 개수)=2로 설정하고 터널채널의 페이딩을 직접 적용하여 BER 시뮬레이션을 수행하였다. 또한  $L=2$ ,  $M=2$  이고  $K$ (Rice K-factor)를 변화시키며 BER 시뮬레이션을 수행하여 직접 터널 채널의 페이딩을 적용한 결과와 비교하였다 또한  $L=2$ ,  $M=2$  일 때 AWGN 채널 환경에 대한 BER 값을 얻었다.

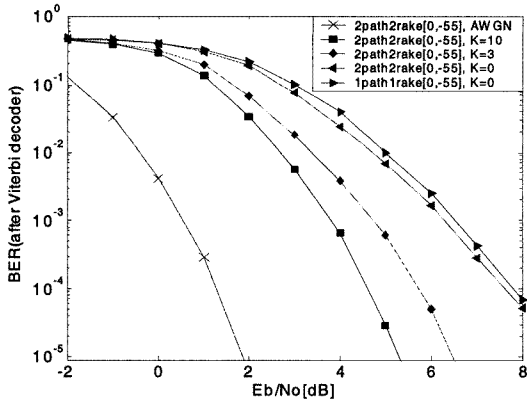


그림 6. 레일리 및 라이시안 페이딩 채널에서 위성 DMB 시스템 E의 BER성능

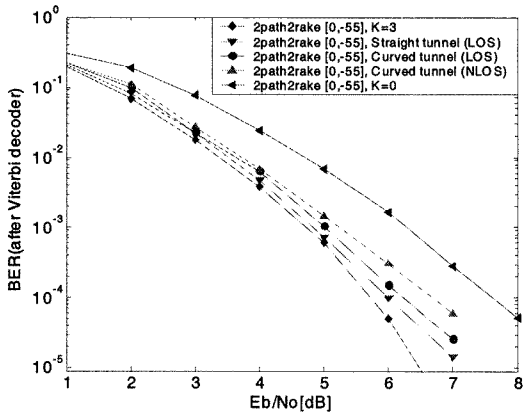


그림 7. 터널 채널에서 위성 DMB 시스템 E의 BER성능

수신기의 이동속도는 실제 지하철의 평균 이동 속도인 50 km/h로 결정하였다.

그림 6은 레일리 페이딩 채널과 라이시안 페이딩 채널에서 시스템 E의 BER 특성을 보여준다. BER 값은  $L=1, M=1, K=0$ 일 때 최대이고  $K$ 값이 증가함에 따라 BER이 감소하며 AWGN일 때 최소이다. 한편  $L=2, M=2, K=0$ 일 때 BER은  $L=1, M=1, K=0$ 인 BER에 비해 크게 감소하지 않았는데 이는 second resolvable path의 전력이 first resolvable path의 전력보다 55 dB작기 때문에  $L, M$ 을 증가해도 경로 다이버시티에 의한 이득을 크게 얻을 수 없기 때문이다.

그림 7은 ray-tracing기법을 이용해 발생시킨 페이딩 채널에서 시스템 E의 BER 특성을 나타낸다. 터널 페이딩 채널에서 BER은 직선터널이 가장 작고 곡선가시구간, 곡선비가시구간 순으로 증가하였다. 이는 비가시구간이 가시구간에 비해  $K$ 값이 작은 채널 특성을 갖기 때문이다. 또한 세가지 터널

표 1. 시스템 E의 요구 BER( $10^{-3}$ )을 만족하는 최소  $E_b/N_0$ .

페이딩 채널	라이시안 K=3	직선 터널	곡선터널(가시영역)	곡선터널(비가시영역)	레일리 K=0
$E_b/N_0$ (dB)	4.7	4.8	5.0	5.2	6.3

채널에서의 BER은 모두  $K=0$ 인 페이딩 채널의 BER 보다 작고  $K=3$ 일 때의 BER 보다 컸다. 시스템 E의 요구 BER인 0.001을 기준으로 한 최소  $E_b/N_0$  값은 표 1에 제시되어있다. 이를 통해 레일리 페이딩 채널에 비해 터널 페이딩 채널에서 1~1.5 dB정도의  $E_b/N_0$  상의 차이가 발생하였다.

### V. 결론

본 논문에서는 ray-tracing방법을 이용하여 얻은 터널환경의 페이딩 채널특성을 적용하여 지하철구간 내에서의 위성 DMB 시스템의 BER성능을 예측하는 방법을 제안하였다. 단면이 직사각형인 직선터널과 곡선터널의 가시영역 및 비가시영역에 대해 송수신단간의 거리를 변화시키며 수신전력 값을 얻고 이로부터 fast fading 데이터를 추출하였다. 그리고 resolvable path의 수신 전력 값을 분석하여 시스템 E의 BER시뮬레이션에 이용되는 다중경로의 수와 레이크 수신기의 핑거수를 2로 결정하였다. 이렇게 얻은 fast fading 데이터와 다중경로의 수 및 레이크 수신기의 핑거수를 몬테카를로 방법을 이용하는 BER 시뮬레이터에 적용하여 위성 DMB 시스템 E의 BER성능을 예측하였다. 터널 페이딩 채널에서 BER성능은 직선터널에서 가장 우수하며 곡선가시구간, 곡선비가시구간 순으로 감소하였다. 또한 세가지 터널 모두 BER 성능은  $K=0$ 일 때 보다 우수하고  $K=3$ 일 때 보다 열악하였다. 요구 BER인 0.001을 기준으로 위성 DMB 시스템 E의 성능은 레일리 페이딩 채널에 비해 터널 페이딩 채널에서 1~1.5 dB정도 차이가 발생하였다.

본 논문에서 제시한 BER 시뮬레이션 방법은 터널환경뿐만 아니라 ray-tracing을 이용한 전파채널 모델링이 가능한 모든 환경에 대해 적용할 수 있다. 그리고 이 방법을 통해 얻은 터널환경에서의 BER성능을 이용하여 터널 내에 gap filler를 설치하기 위한 이격거리를 정하는 데 기초자료로 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] ITU-R Rep. 676-1, Probability distributions relevant to radiowave propagation modelling, International Telecommunications Union (ITU), Geneva, 1994.

[2] A. Papoulis, *Probability, Random Variables and Stochastic Process*, McGraw-Hill, New York, 2nd Edition, 1984.

[3] J.G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, New York, 2nd edition, 1989.

[4] 조한신, 김도윤, 육종관, 최오열 “터널 환경에서 2.6 GHz 대역신호의 전파전파 채널 특성 전자과학회 종합학술발표회 pp.589-593, 2003년 11월 15일.

[5] Rafael P. Torres, Susana Lored, Luis valle, Marta Domingo, “An Accurate and Efficient Method Based on Ray-Tracing for the Prediction of Local Flat-Fading Statistics in Picocell Radio Channels,” *IEEE Journal On Selected Areas in Communications*, 18(2), February 2001.

[6] Recommendation ITU-R BO.1130-4.

[7] Dirk Didascalou, *Ray-Optical Wave Propagation Modeling in Arbitrarily Shaped Tunnels*, Prentice Hall, 1990.

[8] D. Didascalou, M. Dotteding, T. Zwick and W. Wiesbeck, “A novel ray-optical approach to model wave propagation in curved tunnels,” *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2313-2317, May, 1999.

[9] C.A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, 1989.

[10] W.C.Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1982.

조 한 신 (Han-shin Jo)

준회원



2001년 8월 연세대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)  
 2004년 2월 연세대학교 전기전자공학과 졸업(공학석사)  
 2004년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 전파전파, 무선통신 채널모델링, MIMO/OFDM

김 도 윤 (Do-youn Kim)

준회원



2002년 8월 연세대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)  
 2004년 8월 연세대학교 전기공학학과 졸업(공학석사)  
 2004년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 전파전파, 무선통신 채널모델링, MIMO/OFDM

문 철 (Cheol Mun)

정회원



1995년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1997년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 2001년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
 2001년 3월~2002년 2월 삼성

전자 네트워크 사업부

2002년 3월~2003년 7월 호남대학교 전자공학과 교수  
 2003년 8월~현재 충주대학교 전기전자정보공학부 교수

육 종 관 (Jong-gwan Yook)

정회원



1987년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1996년 2월 University of Michigan(공학박사)  
 2000년 2월~현재 연세대학교

교수

<관심분야> MEMS, 초고주파 회로, EMI/EMC, 초고주파 수치해석