

<https://doi.org/10.7236/IIIBC.2019.19.2.67>

IIIBC 2019-2-9

## 한반도 지역에서 이동형 위성단말의 오류확률 분석

### Analysis of Error Probability of Mobile Satellite Communication System In Korea Peninsula Area

이희규\*

Huikyoo Lee \*

**요약** 본 논문은 이동형 위성단말이 운용되는 환경에서 기준이 되는 오류확률 성능을 도출한다. 위성단말이 이동을 하면 주변 장애물에 의해 shadowing 발생하고, BER 성능을 저하시킨다. 분석을 위해 이동형 위성단말이 운용되는 환경을 모의한 Lutz 모델을 활용한다. Lutz 모델은 Rician 분포와 Suzuki 모델을 결합한 형태이다. 오류확률은 두 분포함수를 수식적 분석을 이용하여 도출한다. 한반도 수풀지역에서 측정 결과로 시뮬레이션한 결과는 Lutz 모델을 이용해 근사화한 BER 결과와 유사했다. 직관적으로 측정결과와 근사화한 결과는 유사하고, 수치적으로 SNR이 30dB에서 BER 오차는 약  $3e-4$  이하이다.

**Abstract** In this paper, we derive a reference error probability performance in the environment where mobile satellite terminal is operated. When the satellite terminal moves, shadowing occurs due to the surrounding obstacles and the BER is lowered. We use the Lutz model simulating the environment in which mobile satellite terminals operate. The Lutz model combines the Rician distribution with the Suzuki model. The error probability is derived from the numerical analysis of two distribution functions. The simulated results using the measured results in the Korean Peninsula forest area were similar to the BER results obtained using the Lutz model. Intuitively, the approximated results are similar to the measured results. Numerically, the BER error is about  $3e-4$  or less at an SNR of 30dB.

**Key Words** : Mobile Satellite, Shadowing, Rician, Lutz, error probability

## 1. 서론

위성통신에서는 모뎀의 성능 기준을 설정할 때 AWGN 채널을 고려한다. 기존의 위성통신장비는 고정 설치되어 운용되므로, AWGN 채널에서 발생하는 오류 확률을 오류확률을 기준 성능으로 설정할 수 있었다. 하지만 단말이 이동하면 shadowing이 발생하고 AWGN 채널의 BER 곡선을 모뎀 제작을 위한 기준 성능으로 적용할 수 없다. Shadowing은 위성파 단말 사이 장애물로 인

해 신호 발생하는 현상이다.

이동형 위성단말의 shadowing 특성은 Lutz가 모의하였다. Lutz 모델은 위성환경에서 shadowing이 발생하는 채널을 Rician 분포와 Suzuki 모델을 사용하여 모의하였다<sup>[1]</sup>. Rician 분포는 LOS가 존재하는 경우이며, Suzuki 모델은 LOS가 존재하지 않는 환경을 모의하였다<sup>[2]</sup>. Suzuki 모델은 Rayleigh와 Lognormal이 결합한 형태이다. Rician 분포와 Rayleigh/Lognormal 분포는 수식적 분석으로 오류확률을 도출할 수 있다<sup>[3]</sup>.

\*정회원, 국방과학연구소  
접수일자 2019년 3월 6일, 수정완료 2019년 4월 3일  
게재확정일자 2019년 4월 5일

Received: 6 March, 2019 / Revised: 3 April, 2019 /  
Accepted: 5 April, 2019

\*Corresponding Author: heeq@add.re.kr

Agent for Defence Development, Daejeon, Korea

한반도의 경우 국토 중 산지 비율이 약 42%이다. 이동 중 수풀로 인한 신호 단절이 발생하기 쉽다. 특히, 안테나 양각이 낮아질수록 발생 확률은 증가한다.

이동형 위성단말은 shadowing의 영향으로 끈김없는 통신을 유지하기 어렵다. shadowing 환경에서 운용되는 모뎀은 링크성능을 분석하기 위해 이론적 분석이 필요하다.

측정신호는 한반도 지형에서 측정된 신호를 이용한다<sup>[4]</sup>. 측정 환경은 이동형 위성단말을 운용하면서 수신한 비콘신호를 활용한다. 비콘신호의 주파수는 Ka이며, 양각은 약 45도 이다.

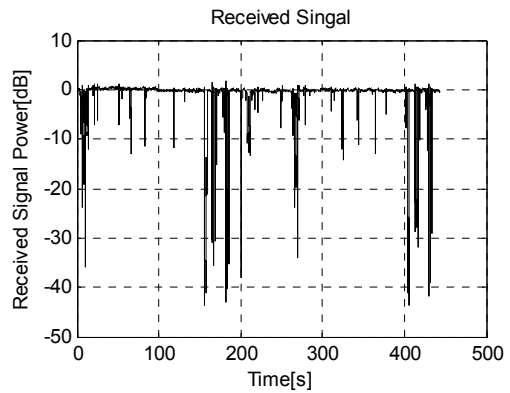


그림 1. 비콘 수신신호 전력(시골환경)  
Fig. 1. Signal power of beacon(rural environment)

## II. 채널 측정

표 1. 비콘 C/N  
Table 1. C/N of Beacon

| 항목                      | 값     | 단위   | 비고 |
|-------------------------|-------|------|----|
| 위성 EIRP                 | 36    | dBW  |    |
| 단말 G/T                  | 13.8  | dB/K |    |
| 경로손실                    | 210.3 | dB   |    |
| 기타손실                    | 0.5   | dB   |    |
| 대역폭<br>(Digital filter) | 500   | Hz   |    |
| C/N                     | 40.6  | dB   |    |

채널 측정을 위해 지름 60Cm에 20GHz대역의 신호를 수신하는 이동형단말을 사용한다. 측정 방법은 이동형단말을 상용차량에 탑재하여 무궁화 5호 위성 비콘 신호를 수신 및 0.01초단위로 저장한다. 신호 측정 시 국내 지형 및 이동형단말의 운용환경을 고려하여, 도심지, 외곽 지역, 그리고 수풀지역에서 수신된 신호를 저장한다. 신호 측정 목적은 건물 또는 수풀로 발생하는 Shadowing을 측정하기 위함이므로, 날씨의 영향을 피하기 위해 맑은 날 측정된 신호만을 이용한다. 한반도에서 동경 113도에 위치한 무궁화 5호 위성으로의 양각은 약 45도이며, Shadowing 영향은 위성을 바라보는 양각에 따라 차이가 있을 수 있다.

그림 1은 이동 중 수신한 신호의 세기이다. 산악지형에서 운용되는 위성단말은 수풀로 인해 감쇄가 발생한다. 감쇄 특성은 이동 방향과 지형 상황에 따라 달라지므로 무작위성을 가진다.

## III. 채널 모델

Lutz모델은 LMS채널을 표현하기 위해 제안된 채널 모델이다. Lutz모델은 Rician 분포와 Suzuki모델을 결합하여 Shadowing이 발생하는 위성 채널을 모의하였다<sup>[1]</sup>. Suzuki모델은 Rayleigh분포와 Log-Normal분포를 결합한 채널모델로 반사, 산란 및 굴절을 고려한 방법이다<sup>[2]</sup>.

### 1. Rician distribution

Rician 분포는 LOS신호가 존재하는 Multipath 채널에서 사용하는 분포이다.

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(\alpha^2 + v^2)}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\sqrt{\frac{\alpha v}{\sigma^2}}\right), \alpha \geq 0 \quad (1)$$

$\alpha$ 는 channel fading amplitude,  $\sigma^2$ 은 분산이고, Rician 분포를 표현하기 위해 Bessel함수 ( $I_0$ )가 사용된다.

### 2. Suzuki 모델

Rayleigh 분포와 Log-normal분포가 결합된 형태로 LOS가 존재하지 않는 Shadowing 채널을 모의한 채널 모델이다<sup>[3]</sup>. 건물이나 수풀로 발생하는 산란을 고려하기

위해 Rayleigh 분포  $p_{\alpha}(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right), \alpha \geq 0$

가 사용되었고, 다중반사에 의해 발생하는 신호의 증폭 효과를 모의하기 위해 Log-Normal분포  $p_\alpha(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma\Upsilon} \exp\left[-\frac{(\ln\alpha - u)^2}{2\sigma^2}\right]$ ,  $\alpha \geq 0$  가 사용되었다.

$$p(x)_{Suzuki} = \int_{\Sigma} f(x;\sigma) dQ(\sigma) \\ = \int_0^\infty \frac{x}{\sigma^2} \exp(-x^2/2\sigma^2) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma\lambda} \cdot \exp\left(-\frac{(\log\sigma - \mu)^2}{2\lambda^2}\right) d\sigma \quad (2)$$

여기서,  $f(x;\sigma)$ 는 신호 수신지점에서의 확률밀도함수,  $Q(\sigma)$ 는  $\sigma$ 의 분포,  $\sigma$ 는 여러 개의 다중경로를 의미한다. 신호 수신지점에서는 여러 건물 및 장애물로 인해 Rayleigh 확률밀도함수로 영향을 받으며, 송신기로부터 건물에 의해 산란이 발생하기 전까지의 감쇠확률은 Log-normal분포를 가정한 모델이다.

### 3. Lutz 모델

LMS 채널을 모의하기 위한 모델로, Rician 분포와 Suzuki모델을 결합한 형식이다. Rician 분포와 Suzuki모델은 Shadowing 확률을 의미하는 A로 구분하여 결합된다. 다중경로는 모두 존재하지만, LOS가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우를 두 모델의 합으로 표현하였다[1].

$$p_{Lutz}(S) = (1 - A) \cdot p_{Rice}(S) + A \int_0^\infty p_{Rayl.}(S|S_0) p_{LN}(S_0) dS_0 \quad (3)$$

Lutz모델에서 성능은 Rician분포의 수신 신호 대 다중 경로신호 크기 비 K, Shadowing 시간 A, 신호 분산값  $\sigma$ , 그리고 Log-normal분포의 평균신호크기감소량  $\mu$ 에 의해 결정된다.

## IV. 평균 오류 성능

확률분포함수는 평균 오류 성능을 수학적으로 표현하

려면 0부터 무한대까지의 적분이 필요하다. AWGN 채널에서는 적분형태를 Gaussian Q-function과 Marcum Q-function을 사용해 표현해왔다. LMS 채널의 수학적 분석을 위해서는 AWGN채널뿐만 아니라, Rician 및 Rayleigh, Log-Normal분포를 갖는 채널환경의 수학적 표현이 필요하다. 무한대 구간의 적분형태를 닫힌 형태로 변형하기 위해 Laplace transform이 사용한다. 닫힌 형태로 표현되지 않는 수식은 기존에 활용되던 Gaussian Q-function 또는 Marcum Q-function과 Gauss-Hermite를 활용한 분석을 한다[3].

고정형 위성단말의 경우 AWGN만을 고려한다. AWGN채널에서 BPSK변조방식을 운용하는 시스템의

BER은  $P_b(E) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$ 로 Q-function을 활용해 성능 분석할 수 있다. 고차변조방식은 [3]에서 확인 가능하다. Fading 채널의 경우  $E_b/N_0$ 을  $\Upsilon$ 로 치환 후,  $P_b$ 에 채널의 영향을 곱함으로써 구할 수 있다.

$$P_b = \int_0^\infty P_b(E;\Upsilon) p_\Upsilon(\Upsilon) d\Upsilon \quad (4)$$

Fading 채널에서의 오류확률은 식(4)과 같이 적분형식으로 표현된다.

Lutz모델의 오류확률은 Rician 분포와 Suzuki모델의 오류확률을 Shadowing 시간 A에 비례하여 더해 연산이 가능하다. Rician fading 채널에 대한 성능 K에 따른 결과를 확인할 수 있다.

### 2. Suzuki model

Log-Normal shadowing channel은 Laplace transform을 이용해 닫힌 형태로 변형할 수 없다. 닫힌 형태로 표현하기 위해서 Gauss-Hermite구적법을 이용해 표현이 가능하다[3]. Log-normal distribution을 순시적인 SNR 형태로 변형하면, 식(5)과 같다.

$$p_\Upsilon(\Upsilon) = \frac{10/\ln 10}{\sqrt{2\pi\sigma^2\Upsilon}} \cdot \exp\left[-\frac{(10\log_{10}\Upsilon - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], \Upsilon \geq 0 \quad (5)$$

여기서,  $u(\text{indB}) = 10\log_{10}\Upsilon$ 이며,  $\sigma(\text{indB})$  Log형태의 표준편차다. 순시적인 SNR형태를 Gauss-Hermite구적법을 이용해 변형하면 식(6)과 같다.

$$P_{BER} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum w_i Q\left(a \sqrt{10^{(x_i \sqrt{2}\sigma + \mu)/10}}\right) \quad (6)$$

Rayleigh분포와 Lor-normal분포로 구성된 Suzuki모델의 평균오류성능은 Laplace transform과 Gauss-Hermite 구적법을 이용해 분석 가능하다. Suzuki model을 순시적인 SNR로 표현하면 식(7)과 같다.

$$p_Y(Y) = \int_0^\infty \frac{Y}{\Omega} \exp\left(-\frac{Y}{\Omega}\right) \times \left\{ \frac{10/\ln 10}{\sqrt{2\pi\sigma^2}\Omega} \exp\left[-\frac{(10\log_{10}\Omega - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \right\} d\Omega, \quad Y \geq 0 \quad (7)$$

Laplace transform과 Gauss-Hermite 구적법을 사용하여 닫힌 형태로 변형한 결과는 식(8)과 같다.

$$P_{SER} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^n w_i [1 - u(c_i)] \quad (8)$$

여기서,  $u(c_i)$ 는  $\sqrt{\frac{c_i}{1+c_i}}$ 로,  $c_i$ 는  $\frac{a^2}{2} 10^{(x_i \sqrt{2}\sigma + \mu)/10}$ 로 정의한다. 여기서  $\sigma$  신호 분산 값,  $\mu$  평균신호크기감소량이며, BER curve는  $\mu$ 을 변경하여 확인할 수 있다.

### 3. Lutz 모델

Lutz모델에 적용된 Rician 분포와 Suzuki 모델은 shadowing 시간으로 분리된 구조다. 식(5), 식(8)을 결합하여 Lutz모델의 평균오류확률을 구할 수 있다.

$$P_{BER} = (1-A)p_{Rician} + Ap_{Suzuki} \quad (9)$$

Shadowing 시간 A는 위에 측정된 채널을 이용해 적용 가능하다.

## V. 결과 및 분석

측정 결과를 이용해 파라미터를 추출한다.

그림 2는 6개 환경에서 측정된 신호를 합한 결과이다. Measure는 신호세기를 이용해 시뮬레이션을 진행한 결과이며, Theory는 표2의 파라미터를 식(9)에 적용한 결과이다. 그림 2에서 Lutz모델을 이용하여 실제 측정신호를 효과적으로 모의할 수 있음을 확인하였다.

표 2 확률 밀도 모델 파라미터

Table 2. Parameters of probability density model.

| 구분 | A [%] | K [dB] | $\sigma$ [dB] |
|----|-------|--------|---------------|
| 1  | 8.4   | 23.01  | -17.68        |
| 2  | 7.0   | 23.01  | -17.80        |
| 3  | 4.0   | 24.62  | -17.59        |
| 4  | 8.6   | 24.77  | -17.96        |
| 5  | 8.3   | 24.77  | -17.69        |
| 6  | 6.9   | 23.01  | -17.91        |

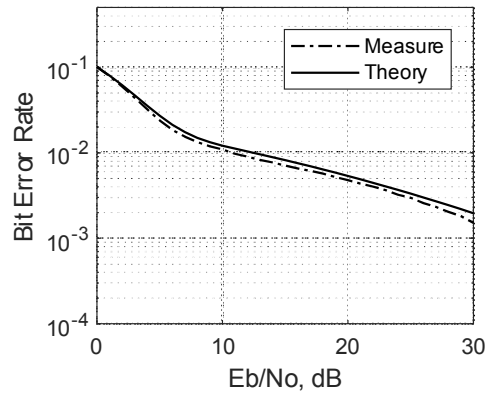


그림 2. 비트오류확률 성능

Fig. 2. BER performance

표 3. 채널별 오류확률 오차(@SNR 30dB)

Table 3. BER error per channel(@SNR 30dB)

| 구분 | BER error   |
|----|-------------|
| 1  | 3.0191e-04  |
| 2  | 6.8765e-05  |
| 3  | 3.0160e-04  |
| 4  | 1.7052e-04  |
| 5  | 2.3846e-04  |
| 6  | -3.2781e-04 |

표3를 보면 6개 채널에서 측정치와 이론치의 오차를 볼 수 있다. 오차는 Eb/No가 30dB인 지점에서 측정치와 이론치의 오차이며, 그 크기가 작은 것을 확인할 수 있다.

## VI. 결론

위성에서 측정된 신호를 이용한 시뮬레이션 결과와 Lutz모형을 이용하여 근사화한 결과는 유사하다. 오차는 SNR이 30dB에서 약  $3e-4$ 이하이므로, 이동형 위성단말의 기준 성능을 근사화한 값으로 사용 가능할 것이다. 측정 결과는 수질지역에서 이동형 위성단말을 이용하여 수집한 신호 세기이다. 추후 도심 등 다양한 환경에서 분석이 필요하다.

## 저자 소개

### 이 희 규(정회원)



- 2010년 2월 : 충북대학교 전자공학부 공학사
- 2012년 2월 : 충북대학교 전자공학부 공학석사
- 2012년 4월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

## References

- [1] E. Lutz, et al, "The land mobile satellite communication channel—recording, statistics, and channel model", IEEE Trans. Vehicular Tech., vol. 40, no. 2, pp. 375-386, May 1991.  
DOI : <https://doi.org/10.1109/25.289418>
- [2] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation", IEEE Trans. Vehicular Tech., vol. Com-25, no. 7, pp. 673-680, July 1977
- [3] M. K. Simon, M. S. Alouini, "Digital Communication over Fading Channels, 2004.
- [4] K. S. Kwon, J. W. Heo, K. M. Hwang, C. M. Lim, H. G. Ryu "Analysis of Channel Characteristics at Around 20 GHz for Satellite On-The-Move Terminal", JKIEES. 2014 Feb. 25(2), 223~234.
- [5] H. Ko, S. Jung, I. Lee, "A Study on Compatibility between LTE and WLAN System for Mobile SatelliteWireless Package System" IJIBC Vol.7 No.2 pp.130-136 July 2015.
- [6] J. S. Kim, "Adaptive MPSAM technology for Compensation of Rayleigh Fading Channels", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), v.11, no.11, pp.4563-4567, 2010.  
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.11.4563>