

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.4.59>  
JIIBC 2020-4-8

# 위성통신 시스템에서 수신기 모뎀 성능을 시험하기 위한 인위 잡음 발생 방법

## An artificial noise generation method for MODEM performance test in satellite communication system

조태중\*

Tae-Chong Cho\*

**요 약** 위성통신 시스템에서 모뎀의 성능을 시험하는 경우가 종종 발생한다. 하지만 일반적으로 위성단말 수신기는 높은 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 확보되도록 설계되어 있어서 시스템 단위에서의 모뎀 성능을 확인하기 위해서는 인위적인 약조건을 조성해야 한다. 대표적인 방법으로는 위성 중계기의 출력을 조절하거나 잡음 발생 계측기를 이용하는 것이지만, 현실적으로 이는 비용과 시간, 절차가 많이 소요된다. 이를 극복하기 위해 본 논문에서는 효율적인 위성단말 수신기의 잡음 레벨을 인위적으로 발생하여 SNR을 조절하는 방법을 제안한다. 우선, 일반적인 헤테로다인 위성단말 수신기의 SNR을 계산하였고, 수식에 기초하여 저잡음 증폭장치 앞단에 가변 감쇠기를 추가한 모델을 제시하였다. 시뮬레이션 결과 가변 감쇠기가 추가된 위성단말 수신기에서는 인위적으로 잡음이 발생되었으며, 이를 통해 위성통신 시스템에서 모뎀 성능 시험이 가능하다는 것을 확인하였다.

**Abstract** Occasionally, MODEM test in satellite communication systems are needed. But Rx terminals in satellite communications are designed to obtain high SNR generally, therefore artificial bad conditions and environments are demanded for the test. One of the typical method is satellite output power reduction. Using noise generator can be another method. However, these costs a lot of money, time, and procedures in reality. In order to overcome these problems, this paper proposes an artificial noise generation method for MODEM test in satellite communication systems. First of all, SNR of a general heterodyne Rx terminal is calculated. Based on the calculation, a new model which is including variable attenuator is proposed to increase noise level. Simulation results illustrate the variable attenuator can control SNR, and these show that MODEM test in satellite communication systems be possible.

**Key Words** : Satellite communication, Rx terminals, MODEM test, Artificial noise generation, SNR control.

### 1. 서 론

위성통신 시스템은 위성 단말 송신/수신기와 중계기

로 크게 나눌 수 있다. 그림 1과 같이 위성단말 송신기에서 신호를 보내면 위성 중계기가 신호를 수신한다. 중계기는 받은 신호를 수신 주파수로 변경하여 위성단말 수

\*정회원, 국방기술품질원  
접수일자 2020년 6월 2일, 수정완료 2020년 7월 7일  
게재확정일자 2020년 8월 7일

Received: 2 June, 2020 / Revised: 7 July, 2020 /  
Accepted: 7 August, 2020  
\*Corresponding Author: taechong@daq.re.kr  
Defense Agency for Technology and Quality, Korea

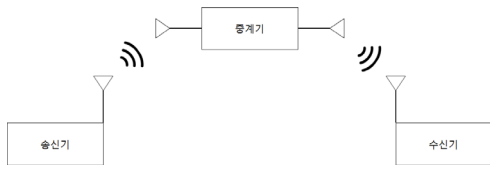


그림 1. 위성통신 시스템의 신호 흐름도  
Fig. 1. Signal flow of satellite communication system

신기에 신호를 보내 통신을 가능하게 한다<sup>[1]</sup>. 같은 종류의 단말을 이용하여 위성통신이 이루어지기도 하지만, 서로 다른 종류의 단말을 이용하여 송신과 수신이 이루어지기도 한다<sup>[2]</sup>. 위성단말 수신기의 SNR은 수신 안테나의 크기와 수신기 구성 모듈 잡음지수에 따라 달라진다<sup>[3]</sup>.

위성통신 시스템의 성능 시험은 일반적으로 장치들의 성능을 먼저 확인한 후에 진행한다. 각 장치의 성능들이 규격을 만족하면 그림 1과 같이 시스템 연동 시험을 진행하게 된다.

모뎀의 성능은 규격에 명시된  $E_b/N_0$ 가 수신될 때, Bit Error Rate(BER) 값으로 양호여부를 판단하며  $E_b/N_0$ 와 SNR은 식 1과 같은 관계를 가진다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \left( \frac{W}{R_b} \right) \quad (1)$$

$E_b$ 는 비트 당 에너지(bit energy),  $N_0$ 는 잡음전력 스펙트럼 밀도(Noise power spectral density),  $S$ 는 신호 전력,  $N$ 은 잡음전력,  $W$ 는 대역폭(Bandwidth),  $R_b$ 는 비트 전송률(Bit rate)이다. 즉, SNR은 아날로그에서 신호 대 잡음비를 나타내는 성능 지수이며,  $E_b/N_0$ 는 디지털 통신에서 쓰이는 성능 지표이다<sup>[4]</sup>.

위성통신 시스템 단위에서 모뎀의 성능을 시험하는 것이 좋으나 현실적으로는 분리하여 성능을 검증한다. 위성통신 시스템 단위에서는 모뎀 성능 확인을 위한  $E_b/N_0$ 을 맞추기가 어렵기 때문이다.

일반적으로 정상적인 위성통신 시스템이라면 수신기 모뎀에 들어오는 신호는 깨끗하여  $E_b/N_0$ 이 00 ~ 00 dB로 매우 높다. 하지만 모뎀 규격이나 요구조건에서는  $E_b/N_0$ 가 0 ~ 0 dB 수준에서 시험하여 BER을 확인하도록 명시되어 있다<sup>[5]</sup>. 따라서 위성통신 시스템 단위에서 모뎀의 성능을 확인하려면, 정상적이지 않은 환경을 인위적으로 만들어야 시험이 가능하며, 이는 곧 SNR을 고의적으로 낮춰야 한다는 것을 의미한다.

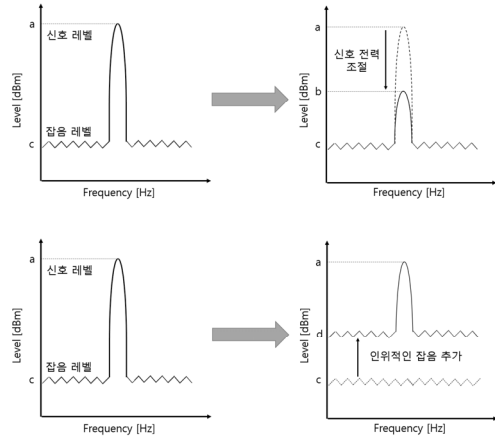


그림 2. SNR을 낮추는 대표적인 두 방법. 위 그림은 출력 레벨을 조절하여 SNR을 낮추는 방법이며, 아랫 그림은 잡음 레벨을 높여 SNR을 낮추는 방법이다.

Fig. 2. Typical two methods to reduce SNR. One is the control of signal level, and the other is the control of additive noise level.

하지만 인위적으로 정상적이지 않은 통신환경을 만드는 방법은 현실적으로 제한적이다. 위성통신 시스템에서 SNR을 낮추는 시험 방법은 크게 2가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 그림 2의 위 그림과 같이 출력을 조절하는 방법이다. 이는 곧 위성단말 송신기와 위성 중계기의 송출 세기를 조절하여 SNR을 맞추는 방법<sup>[6]</sup>으로 많은 시간이 소요된다. 모의 위성 중계기를 통해 시험을 할 경우에는 위성단말 수신기와 모의 중계기 간 물리적 거리가 멀어 상호소통이 느리며, 즉각적으로 SNR을 조절하기가 힘들다. 만일 모의 위성 중계기가 아닌, 실 위성 중계기를 이용한 경우에는 위성 중계기의 출력 조절이 많은 절차와 시간이 요구되어, 현실적으로 실 위성 중계기 송출 세기 조절은 한계가 있다.

다른 방법으로는 그림 2의 아래 그림과 같이 인위적인 잡음을 추가하여 잡음 레벨을 올려 SNR을 낮추는 방법이다. 대표적으로 모뎀 입력되는 부분에 잡음 발생 계측기를 결합하거나 간섭 신호를 이용해 SNR을 맞추 수 있다<sup>[7-8]</sup>. 하지만 이 방법 역시 신뢰성 있는 잡음 발생 계측기나 간섭을 유발하는 장비를 보유해야 가능한 방법이며, 이는 많은 비용 지출이 요구된다. 이런 이유로 위성통신 시스템 단위에서의 모뎀 성능 확인은 정상적인 통신환경에서 시험하기에 어려움이 있다.

시스템 단위에서의 모뎀 성능 확인이 필요한 이유는 모뎀이 교체되는 경우에 성능 확인이 용이하기 때문이다.

기존 RF 송수신 장치들은 그대로 사용하고 성능이 향상되거나 보안 기능이 추가된 모듈로 교체하는 경우가 종종 있다<sup>9)</sup>. 이런 경우 시스템 단위에서의 성능을 검사하는 것이 기계적 호환성, 전기적 호환성 등 기존 충족여부를 쉽게 파악할 수 있기 때문에 시스템 단위에서의 모듈 성능 확인이 요구된다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 극복하기 위해 위성 단말 수신기의 SNR 조절 방법을 소개한다. 그림 2의 아래 그림처럼 인위적인 잡음을 발생시켜 SNR을 낮추는 한 방법을 제시한다. 2장에서는 일반적인 위성단말 수신기의 SNR 계산 방법을 제시하며, 3장에서는 위성단말 수신기에서의 인위 잡음 발생 방안 및 SNR 조절 방법을 제시한다. 4장에서는 간단한 시뮬레이션을 통해 제시한 방안을 확인한다.

## II. 위성단말 수신기의 SNR 계산

위성단말 수신기는 일반적으로 헤테로다인 시스템, 즉 안테나, 저잡음 증폭장치, 중간 주파수 변조장치, 중간 주파수 증폭장치, 하향 주파수 변조장치, 모뎀, 필터 등으로 구성되어 있다. 그림 3는 위성단말 수신기의 SNR을 쉽게 계산하기 위해 크게 3부분(안테나 부, 전송라인 부, 신호 증폭 및 변환 부)으로 나눈 그림이다. 전송라인 부는 안테나 이후부터 저잡음 증폭장치 전까지이며, 신호 증폭 및 변환 부는 저잡음 증폭장치부터 모뎀 앞 필터까지이다.

위성단말 수신기의 SNR은 통신에 사용되는 신호의 입력세기와 열, 또는 주변 환경에서 발생하는 잡음신호의 비로 계산된다. 통신에 사용되는 신호와 통신에 방해되는 노이즈의 차이가 클수록 통신의 품질이 좋다.

안테나를 거쳐 위성단말 수신기에 입력된 통신 신호 전력  $S_i$ 는 위성단말 수신기의 내부 소자를 거쳐 신호를 증폭하게 된다. 이 과정에서 안테나를 거쳐 위성단말 수신기에 입력된 잡음 신호 전력  $N_i$  역시 위성단말 수신기의 내부 소자를 거쳐 신호가 증폭하게 된다. 여기에 추가로 내부 소자에서 발생하는 열로 인한 잡음도 추가된다.

우선 신호 증폭 및 변환부의 잡음 온도는 식 2와 같이 계산된다<sup>10)</sup>.

$$T_{REC} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots \quad (2)$$

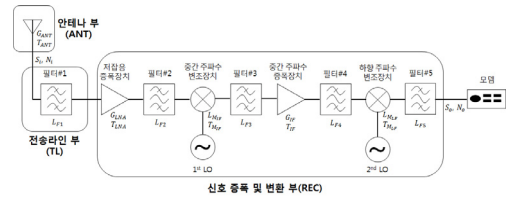


그림 3. 안테나 부, 전송라인 부, 신호 증폭 및 변환 부로 구성된 일반적인 헤테로다인 위성단말 수신기

Fig. 3. A general heterodyne satellite Rx terminal including antenna, transmission line, and receiver.

$T_{REC}$ 는 신호 증폭 및 변환부의 잡음온도이며,  $T_i$ 는  $i$  단계 잡음온도이다.  $G_i$ 는  $i$ 단계 증폭장치 이득 값이다.

한편, 위성단말 수신기는 일반적으로 저잡음 증폭장치의 이득값이 높다. 상기 수식에서  $G_1$ , 즉 첫 번째 증폭기인 저잡음 증폭장치 이득 값( $G_{LNA}$ ) 높으면 식 3과 같이 식이 간단해진다.

$$T_{REC} \approx T_1 \quad (3)$$

즉, 저잡음 증폭장치 이득 값( $G_{LNA}$ )이 매우 높으면 저잡음 증폭장치의 잡음온도 값이 곧 저잡음 증폭장치부터 끝단까지의 잡음온도로 계산된다. 이런 이유로 위성단말 수신기를 설계할 때에는 저잡음 증폭장치 앞 단까지의 손실을 최소화하여 전체 시스템 잡음 레벨을 낮춘다.

안테나를 지난 신호 전력  $S_i$ 가 전송라인 부와 신호 증폭 및 변환 부를 통과한 이후( $S_0$ )는 식 4와 같이 계산된다.

$$S_0 = \frac{S_i G_{LNA} G_{IF}}{L_{F_1} L_{F_2} L_{M_F} L_{F_3} L_{F_4} L_{M_{LF}} L_{F_5}} = S_i G_{SYS} \quad (4)$$

$G_{LNA}$ 는 저잡음 증폭장치의 이득,  $G_{IF}$ 는 중간 주파수 증폭장치의 이득,  $L_{M_F}$ 는 중간 주파수 변조장치의 손실 값,  $L_{M_{LF}}$ 는 하향 주파수 변조장치의 손실 값,  $L_{F_1}$ 은 필터 #1의 손실 값,  $L_{F_2}$ 는 필터#2의 손실 값, ...,  $L_{F_5}$ 는 필터#5의 손실 값이다.  $G_{SYS}$ 는 시스템 전력 이득 값이다.

안테나로부터 들어온 잡음 전력  $N_i$ 는 식 5와 같이 구할 수 있다.

$$N_i = kBT_A \quad (5)$$

$k$ 는 볼츠만상수(Boltzmann constant)로,  $1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ 이며,  $B$ 는 시스템 대역폭,  $T_A$ 는 안테나 잡음온도이다.

전송라인 부와 신호 증폭 및 변환 부를 통과한 이후의 잡음 전력  $N_o$ 는 식 6과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} N_o &= (N_i + kBT_{TL+REC})G_{SYS} \\ &= kB(T_A + T_{TL+REC})G_{SYS} \\ &= kB[T_A + (L_{F1} - 1)T_{room} + L_{F1}T_{REC}]G_{SYS} \end{aligned} \quad (6)$$

$T_{room}$ 은 주변온도이다. 출력 신호 대 잡음비  $SNR_{out}$ 은 최종적으로 식 7과 같이 계산된다<sup>[11]</sup>.

$$\begin{aligned} SNR_{out} &= \frac{S_o}{N_o} \\ &= \frac{S_i G_{SYS}}{kB[T_A + (L_{F1} - 1)T_{room} + L_{F1}T_{REC}]G_{SYS}} \quad (7) \\ &= \frac{S_i}{kB[T_A + (L_{F1} - 1)T_{room} + L_{F1}T_{REC}]} \end{aligned}$$

위성단말 수신기를 통과한 신호 전력  $S_i$ 와 잡음 전력  $N_i$ 의 시스템 전력 이득 값  $G_{SYS}$ 은 공통 이득 값으로 서로 상쇄된다. 따라서 출력 신호 대 잡음비  $SNR_{out}$ 은 안테나 잡음온도  $T_A$ , 전송라인 부 손실 값  $L_{F1}$ , 신호 및 증폭 변환부의 잡음온도  $T_{REC}$ 를 최소화하여 설계하여야 높은 값을 확보할 수 있다.

### III. 제안 방안

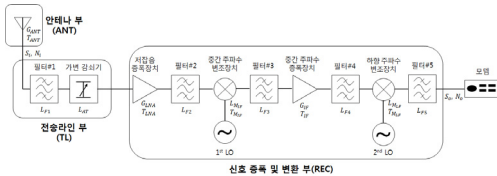


그림 4. 잡음 레벨과 SNR을 조절하기 위한 가변 감쇠기가 추가된 위성단말 수신기 구성도.

Fig. 4. A satellite Rx model with a variable attenuator located in transmission line for increasing noise level and SNR control.

모뎀의 성능을 위성통신 시스템 단위에서 시험하기 위해 그림 4과 같이 전송라인 부에 가변 감쇠기를 추가한다. 전송라인 부에 가변 감쇠기를 추가하면 식 8과 같이 잡음 레벨이 계산된다.

$$\begin{aligned} N_o' &= (N_i + kBT_{TL+AT+REC})G_{SYS}' \\ &= kB(T_A + T_{TL+AT+REC})G_{SYS}' \\ &= kB[T_A + (L_{F1} - 1)T_{room} + L_{F1}(L_{AT} - 1)T_{room} \\ &\quad + L_{F1}L_{AT}T_{REC}]G_{SYS}' \end{aligned} \quad (8)$$

$L_{AT}$ 는 가변 감쇠기를 추가하여 발생한 손실 값이며,  $G_{SYS}'$ 는 식 9와 같이 계산된다.

$$G_{SYS}' = \frac{G_{LNA} G_{IF}}{L_{F1} L_{F2} L_{M_F} L_{F3} L_{F4} L_{M_{IF}} L_{F5} L_{AT}} \quad (9)$$

최종적으로 가변 감쇠기가 추가된  $SNR_{out}'$ 은 식 10과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} SNR_{out}' &= \frac{S_o'}{N_o'} \\ &= \frac{S_i}{kB[T_A + (L_{F1} - 1)T_{room} + L_{F1}(L_{AT} - 1)T_{room} \\ &\quad + L_{F1}L_{AT}T_{REC}]} \end{aligned} \quad (10)$$

즉, 전송라인 부에 가변 감쇠기를 추가함으로써 인해, 잡음 세기를 올릴 수 있어 SNR을 조절할 수 있다.

### IV. 시뮬레이션

일 예로, 위성단말 수신기 모뎀의 성능이 SNR 9 dB 인 조건에서 BER을 확인하는 규격을 가정하면, 그림 3과 같은 수신기에서 표 1과 같은 위성단말 수신기의 SNR은 식 11과 같이 계산된다.

표 1. 실험 파라미터  
 Table 1. Simulation Parameters

매개변수 (Parameters)	값 (Values)
$T_{room}$	300 K
$T_A$	100 K
$L_{F_1}$	1.6 dB
$B$	1 MHz
$T_{REC}$	320 K
$S_i$	-80 dBm

$$SNR_{out} = \frac{S_i}{kB[T_A + (L_{F_1} - 1)T_{room} + L_{F_1}T_{REC}]} \quad (11)$$

$$= 30.2dB$$

동일한 수신기에 그림 4와 같이 가변 감쇠기를 추가하고 가변 감쇠기의 값 20.1dB 가해주면 SNR은 식 12와 같이 달라진다.

$$SNR_{out}' = \frac{S_i}{kB[T_A + (L_{F_1} - 1)T_{room} + L_{F_1}(L_{AT} - 1)T_{room} + L_{F_1}L_{AT}T_{REC}]} \quad (12)$$

$$= 8.99dB$$

이와 같이 가변 감쇠기를 이용하여 SNR을 요구 조건에 맞추어 시험이 가능하다.

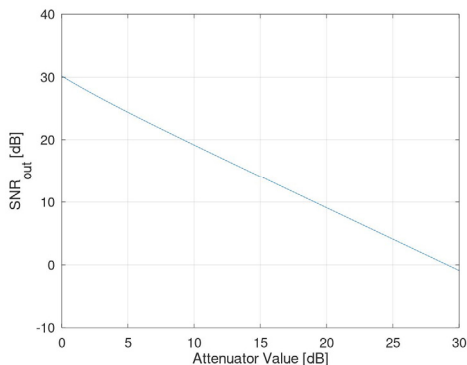


그림 5. 가변 감쇠기 값에 따른 SNR 변화  
 Fig. 5. Attenuator value vs SNR<sub>out</sub> graph.

그림 5는 가변 감쇠기를 0에서부터 30 dB까지 가변하면서 변하는 SNR 그래프이다. 일반적으로 가변 감쇠기는 dB값으로 조절하며, 그래프와 같이 선형으로 SNR 변화를 줄 수 있다. 이것은 모뎀 시험을 위한 Eb/No 조절이 가변 감쇠기를 통해 손쉽게 가능하다는 것을 보여준다.

## V. 결론

본 논문에서는 위성통신 시스템에서 수신기 모뎀 성능 시험을 위해 인위적인 잡음 발생 방법을 제시하였다. 안테나, 전송라인 부, 신호 증폭 및 변환부 등으로 구성된 위성단말 수신기에서 전송라인 부에 가변 감쇠기를 추가하여 위성단말 수신기의 잡음 레벨을 인위적으로 조절하는 방법을 제안하였다.

일반적인 위성단말 수신기의 잡음 레벨 및 SNR을 구하는 수식과 더불어 제안하는 모델의 잡음 레벨과 SNR 수식을 계산하였다.

시뮬레이션 결과 일반적인 위성단말 수신기의 잡음 전력 값과, 가변 감쇠기를 추가한 모델의 잡음 전력 값 비교를 통해 SNR이 조절되는 것을 보여주었고, 이를 통해 위성통신 시스템에서 수신기 모뎀의 성능 시험이 가능하다는 것을 확인하였다.

## References

- [1] D. Roddy, Satellite Communications, 4th ed., McGraw-Hill, 2006.
- [2] M. Miller, B. Vucetic, and L. Berry, Satellite communications: mobile and fixed services, 3rd ed., Boston, MA: Kluwer, 1995.
- [3] G. Maral and M. Bousquet, Satellite communications systems: Systems, Techniques and Technologies. 5th ed., Wiley, 2009.
- [4] B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice HALL.2001.
- [5] Hui-Kyu Lee, "Analysis of Error Probability of Mobile Satellite Communication System In Korea Peninsula Area", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 19, No. 2, pp. 67-71, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.2.67>
- [6] C. E. Wheatley, "Autonomous Satellite Automatic Gain Control", US Patent, US10641901B2, 2020.

- [7] E. Y. Ho, and Y. S. Yeh, "A New Approach for Evaluating the Error Probability in the Presence of the Intersymbol Interference and Additive Gaussian Noise", Bell System Technical Journal, Vol. 49, pp. 2249-2266, 1970.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1970.tb02524.x>
- [8] R. Lugannani, "Intersymbol interference and probability of error in digital systems", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 15, No. 6, pp. 682-688, 1969.
- [9] C. A. Nelson, H. Arimilli, and R. D. Johnson, "Modem with Firmware Upgrade Feature", US Patent, US6928108B2, 2005.
- [10] P. Vizmuller, RF Design Guide: Systems, Circuits and Equations, Norwood, MA: Artech House, 1995.
- [11] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 4th ed., Wiley, 2012.

#### 저 자 소 개

##### 조 태 종(정회원)



- 2015년 2월  
- 광주과학기술원 석사
- 2015년 9월 ~ 2018년 12월 31일  
- 국방과학연구소 연구원
- 2019년 1월 ~ 현재  
- 국방기술품질원 연구원