

# Jamming 환경에서 SFH 변조 방식에 따른 위성 통신 시스템의 BER 성능 분석

## An Analysis on BER Performance of Satellite Communication System Classified by SFH-Modulation Method under Jamming

박우철 · 고흥춘\* · 김재현\* · 김기근\*\*

Woo-Chul Park · Kwang-Chun Go\* · Jae-Hyun Kim\* · Ki-Keun Kim\*\*

### 요 약

FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식은 군 통신 시스템에서 재밍(Jamming)에 의한 간섭을 줄이기 위해 사용된다. 하지만 사용되는 변조 방식의 종류, 재밍 신호의 특성에 따른 위성 통신 시스템의 BER 성능이 무선 채널 상태에 따라 어떤 성능 차이를 보이는지 분석되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 PBNJ(Partial-Band Noise Jamming)와 WPBJ(Worst case Partial-Band noise Jamming)의 두 가지 재밍 환경에서 NC-MFSK(Non-Coherent M-ary Frequency-Shift Keying), SDPSK(Symmetric Differential Phase-Shift Keying), GMSK(Gaussian filtered Minimum-Shift Keying)의 세 가지 변조 방식에 따른 위성 통신 시스템의 BER 성능 변화를 분석한다. 또한, 분석된 결과를 이용하여 전송 환경에 따른 최적의 전송 방식을 제안하도록 한다.

### Abstract

The FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), in which a transmitter changes its carrier frequency according to a certain hopping pattern, is widely used in the military communication system, since it is highly resistant to deliberate Jamming. However, the difference of BER performance of satellite communication system which using the different modulation scheme and Jamming model was not studied. Thus, in this paper, we consider PBNJ(Partial-Band Noise Jamming) and WPBJ(Worst case Partial-Band noise Jamming) as Jamming models, and evaluate BER(Bit Error Rate) performances of NC-MFSK(Non-Coherent M-ary Frequency-Shift Keying), SDPSK(Symmetric Differential Phase-Shift Keying), and GMSK(Gaussian filtered Minimum-Shift Keying) modulation schemes. Based on the results, we suggest the best transmission method for each condition.

Key words : FHSS, PBNJ, WPBJ, BER, MFSK, SDPSK, GMSK

### I. 서 론

군 위성 통신 시스템에서는 데이터 전송 성능 향상을 위해 NC-MFSK, SDPSK, GMSK와 같은 변조

방식에 대해 활발히 연구가 진행되어 왔다. 기존 연구에서는 제안된 변조 방식의 성능 평가를 위해 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널에서 변조 방식에 따른 BER 성능을 분석하였다. 하지만 전

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1021-0011)).」

방위사업청(Defense Acquisition Program Administration)

\*아주대학교 전자공학과(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

\*\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20100727-097

· 교신저자 : 김재현(e-mail : jkim@ajou.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 9월 10일

술 통신 환경에서는 적군이 아군의 통신 교란을 위해 재밍 신호를 발생시킬 수 있으며, 이러한 재밍 신호가 존재할 경우 데이터 전송 신뢰성이 감소할 수 있다. 따라서 재밍 신호가 존재할 때에도 데이터 전송 신뢰성을 높이기 위한 항재밍 기술이 필요하다. 최근 연구에서는 FHSS 방식이 항재밍 기술로 활발히 연구되고 있다. FHSS 방식은 Random Hopping Sequence에 의해 무작위로 주파수 채널을 도약하며 데이터를 송수신하고, 채널 도약 시 대상 채널에 대한 스캐닝을 통해 잡음이나 방해 전파가 있는 채널의 할당을 피함으로써 데이터 전송 신뢰성을 향상시켰다.

FHSS 방식은 주파수를 도약하는 주기에 따라 SFH (Slow Frequency Hopping) 방식과 FFH(Fast Frequency Hopping) 방식으로 나눌 수 있다. SFH 방식은 선택된 채널에서 하나 또는 다수의 데이터 비트를 전송한다. 또한, SFH 방식은 동기식 데이터 검출이 가능하다. 이와는 달리 FFH 방식은 여러 주파수 채널에 걸쳐 하나의 데이터 비트가 전송된다. 또한, FFH 방식은 동기식 신호 검출이 어려우며, 구현하는데 비용이 많이 든다. 하지만 같은 확산처리이득에서는 SFH 방식에 비해 성능이 우수하다. 위와 같은 이유로 SFH 방식은 무선 LAN, GSM 등에서 널리 사용되며, FFH 방식은 사용되는 곳이 매우 적다. 따라서 본 논문에서는 채널 접속 방식으로 SFH가 사용될 경우, 채널에 존재하는 재밍의 특성에 따라 통신 시스템의 BER 성능이 변조 방식의 변화에 따라서 어떻게 변화하는지 알아보도록 한다. 또한, 분석된 결과를 이용하여 채널 상태에 따른 최적의 변조 방식을 결정하도록 한다.

본 논문은 II장에서 시스템 모델에 대해 설명한다. III장에서는 각 변조 방식에서의 BER 성능을 각각 분석하며, IV장에서는 전송환경에 적합한 변조 방식과 파라미터 값을 선택하는 방식에 대해 설명하도록 한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 SFH 시스템을 가정한다. 입력된 데이터는 길쌈 부호화와 변조 과정을 차례로 거치게 되며, PN(Pseudo random Number) 시퀀스에 의해 주기적으로 랜덤하게 채널을 바꾸어 전

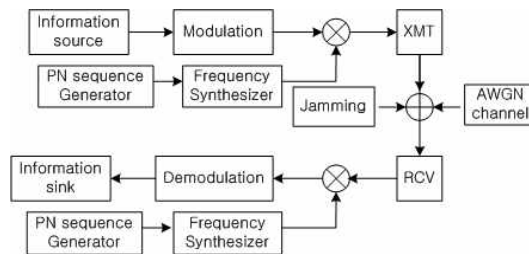


그림 1. 시스템 구성도  
Fig. 1. System block diagram.

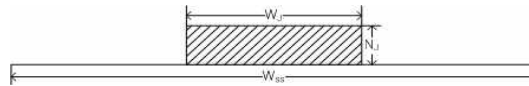


그림 2. 재밍의 대역 분포  
Fig. 2. Noise jammer frequency distribution.

송하게 된다. 무선 채널에서의 잡음은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 재밍이 존재하는 것을 가정하였다. 재밍은 PBNJ(Partial-Band Noise Jamming)와 WPBJ(Worst case Partial-Band noise Jamming)의 두 가지 모델을 사용하여 성능 분석을 수행하였다. PBNJ에서 잡음 전력  $J$ 는 전체 대역  $W_{SS}$  중 일부분인  $W_J$ 에 걸쳐 분포한다. 그림 2는 주파수 대역에서 잡음의 분포를 나타낸다. 이때 전체 대역 중 잡음의 분포 비율은  $\rho$ 로 나타내며, 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{W_J}{W_{SS}} \tag{1}$$

재밍의 총 전력  $J$ 는  $W_J$ 로 고르게 분포되므로 PSD (Power Spectral Density)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{J}{\rho W_{SS}} = \frac{N_J}{\rho} \tag{2}$$

여기서  $N_J$ 는 재밍 잡음의 PSD를 나타내며,  $J/W_{SS}$ 로 구할 수 있다. 위 결과를 식 (3)과 같이  $E_b/N_J$ 로 나타낼 수 있다.

$$\frac{E_b}{N_J/\rho} = \frac{\rho E_b}{N_J} \tag{3}$$

PBNJ에서 비트 오류 확률  $P_b$ 는 식 (4)와 같이 데이터가 재밍이 있는 채널을 통해 전달될 경우와 그렇지 않은 경우의 확률을 통해 구할 수 있다<sup>[1]</sup>.

$$P_b = (1-\rho) \cdot P_1 + \rho \cdot P_2 \cong \rho \cdot P_2, \quad (4)$$

여기서  $P_1$ 은 채널에 재밍이 발생하지 않은 경우의 비트 오류 확률이며,  $P_2$ 는 재밍이 있는 경우의 비트 오류 확률이다. 이때  $P_1$ 은 매우 작다고 가정하였으며 식 (4)와 같이 0으로 가정하였다. 따라서  $P_b$ 는  $\rho$ 와  $P_2$ 에 의해 결정된다. 이때 수신기에서 데이터의 복호화 시 재밍과 AWGN은 구분 없이 동일하게 간주하므로,  $P_2$ 는 AWGN 채널에서 BER을 구하는 방식에서  $N_0$ 를  $N_J/\rho$ 로 바꾸어 구할 수 있다.

본 논문에서는  $\rho$  값에 따른 BER 성능 변화를 살펴보고, 또한, 재밍과 변조 방식에 따른 성능 변화를 살펴보고자 한다. 또한, 각  $E_b/N_J$ 에서 BER이 최대가 되는  $\rho$  값, 즉  $\rho^*$ 를 구하고, 이 값을 이용하여 WPBJ에서의 BER 성능 평가를 수행하였다. 이때 특정 변조 방식에서 BER의 이론적인 성능을 도출해 내는 것이 어려운 경우 실험적으로 얻어진 결과를 사용하여  $\rho^*$  값을 구하도록 한다.

### III. 성능 분석

이번 장에서는 PBNJ와 WPBJ에서 SFH를 사용하는 무선 통신 시스템의 BER 성능을 변조 방식에 따라 각각 구해본다.

#### 3-1 SFH/NC-MFSK를 사용하는 경우

PBNJ 환경에서 변조 방식으로 SFH/NC-MFSK가 사용될 경우, BER은  $M$ 이 2인 경우 식 (5)를 통해 구할 수 있으며,  $M$ 이 2 이상인 경우 식 (6)과 같이 구할 수 있다<sup>[1]</sup>.

$$P_b = \frac{\rho}{2} \cdot e^{-\rho(E_b/2N_J)}, \quad (5)$$

$$P_b = \frac{\rho \cdot 2^{K-1}}{2^K - 1} \sum_{i=1}^{2^K-1} \binom{2^K-1}{i} \frac{(-1)^{i+1}}{i+1} e^{-\frac{iK(E_b \cdot \rho)/N_J}{i+1}}, \quad (6)$$

이때  $K = \log_2(M)$ 이며,  $M$ 은 변조를 통해 생성될 수 있는 심벌의 수이다. 식 (5)를 통해  $\rho$ 가 감소할 경우, 전송된 신호가 재밍에 영향을 받을 확률은 줄어들지만 재밍이 합쳐진 신호의 오류율은 증가한다. 따라서  $\rho$ 가 감소할 경우  $E_b/N_J$ 가 특정 값 이상으로 커지

면 BER은 증가하며, SFH/NC-MFSK의 성능은 전체적으로 감소한다.

WPBJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능은  $P_b$  값을 최대한으로 하는  $\rho^*$ 를 이용하여 식 (8)과 같이 구할 수 있다<sup>[1]-[3]</sup>.

$$\rho^* = \begin{cases} \frac{2}{E_b/N_J}, & E_b/N_J > 2 \\ 1, & E_b/N_J \leq 2 \end{cases}, \quad (7)$$

$$P_b = \begin{cases} \frac{e^{-1}}{E_b/N_J}, & E_b/N_J > 2 \\ \frac{1}{2} \cdot e^{-(E_b/2N_J)}, & E_b/N_J \leq 2 \end{cases}. \quad (8)$$

또한, WPBJ에서  $M$ 이 2 이상인 SFH/NC-MFSK가 사용될 경우 BER 성능은 식 (9)와 식 (10)을 통해 구할 수 있다<sup>[1]-[3]</sup>.

$$\rho^* = \begin{cases} 1, & E_b/N_J \leq \gamma \\ \gamma/(E_b/N_J), & E_b/N_J > \gamma \end{cases} \quad (9)$$

$$P_b = \begin{cases} \frac{2^{K-1}}{2^K-1} \sum_{i=1}^{2^K-1} \binom{2^K-1}{i} (-1)^{i+1} \cdot & E_b/N_J \leq \gamma \\ \frac{1}{i+1} e^{iK(E_b/N_J)/(i+1)}, & \\ \beta/(E_b/N_J), & E_b/N_J > \gamma \end{cases} \quad (10)$$

이때,  $\beta$ 와  $\gamma$ 는 표 1의 값을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

위의 성능 분석 결과의 검증을 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션의 수행을 위한 파라미터 값은 표 2에 나타내었다. 또한, 전송율은 256 kbps로 가정하였으며,  $\rho$  값은 각각 0.01, 0.1, 0.5, 1로 바뀌가며 성능 분석을 수행하였다.

표 1. WPBJ에서 SFH/NC-MFSK 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameter of SFH/NC-MFSK under WPBJ.

$K$	$\beta$	$\gamma$ (dB)
1	0.3679	3.01
2	0.2329	0.76
3	0.1954	-0.33
4	0.1812	-0.59
5	0.1759	-1.41

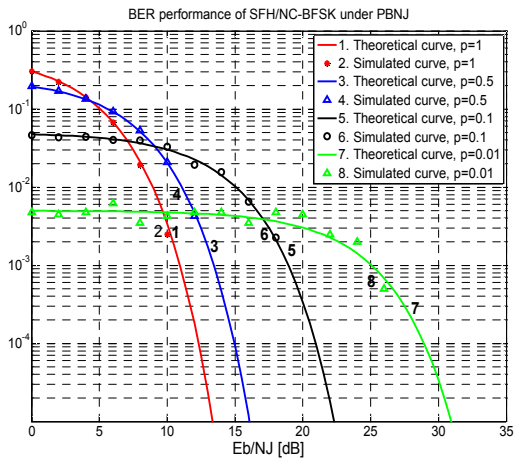


그림 3. PBNJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능  
Fig. 3. BER performance of SFH/NC-BFSK under PBNJ.

그림 3은 무선 통신 시스템에서 SFH/NC-BFSK가 사용될 경우, 송신측에서 전송된 신호가  $\rho$  값의 특성을 갖는 재밍 신호의 간섭을 받았을 때의 BER 성능을 나타낸 것이다. 그림 3을 통해 식 (5)를 통해 분석된 이론적인 결과와 SFH/NC-BFSK의 시뮬레이션 성능 평가 결과가 일치하는 것을 알 수 있다. 또한,  $\rho$ 가 1인 전대역 잡음 재밍이 발생한 경우 4 dB 이하에서 BER이 가장 크게 나타났으며,  $\rho$ 가 0.01일 경우 14 dB보다 클 때 BER이 가장 높게 나타났다.

그림 4은 채널 부호화가 사용되지 않은 경우, WPBJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능을 나타낸다. 그림 4의 결과로부터 시뮬레이션 결과와 수식을 통해

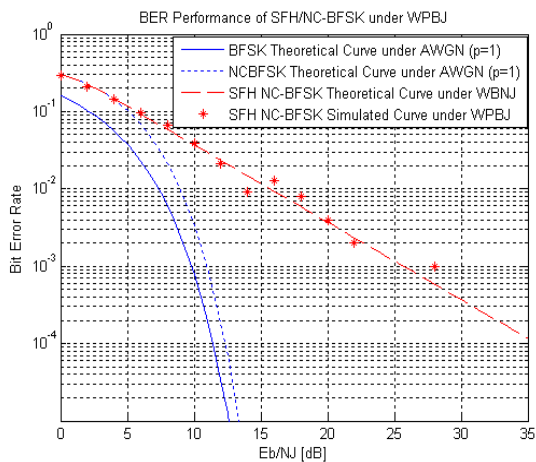


그림 4. WPBJ에서 SFH/NC-BFSK의 BER 성능  
Fig. 4. BER performance of SFH/NC-BFSK under WPBJ.

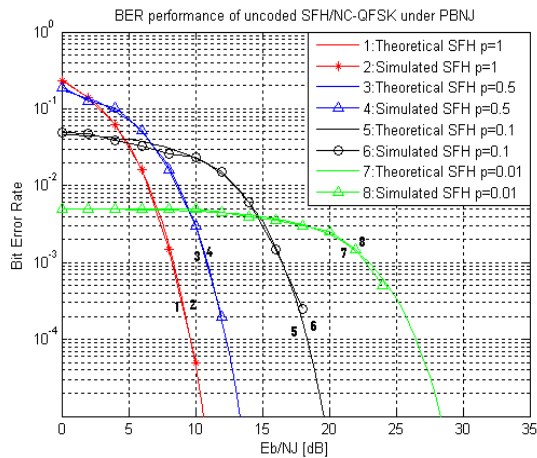


그림 5. PBNJ에서 SFH/NC-QFSK의 BER 성능  
Fig. 5. BER performance of SFH/NC-QFSK under PBNJ.

표 2. PBNJ에서 SFH/NC-MFSK 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation parameters of SFH/NC-MFSK under PBNJ.

Modulation Schemes	SFH (symbols/hop)	Hopping rate (khops/sec)
NC-BFSK	16	16
NC-QFSK	16	8
NC-8FSK	8	10.7

분석된 결과가 일치하는 것을 알 수 있다. 또한, WPBJ의 경우 AWGN과 비교하여 BER 성능이 나쁜 것을 확인할 수 있다.

그림 5~8은 변조 방식으로 SFH/NC-QFSK와 SFH/NC-8FSK가 사용될 경우의 성능을 PBNJ와 WPBJ 환경에서 각각 성능 평가를 수행한 결과이다. 시뮬레이션 환경은 SFH/NC-BFSK의 경우와 같게 설정하였다. 그림 3, 그림 5, 그림 6의 결과를 통해 재밍의 특성에 따라 제공되는 서비스의 QoS 요구사항을 만족하도록 변조 방식과 파라미터를 선택할 수 있다. 한 예로 무선 통신 시스템의 타깃 BER이 0.001인 경우 SFH/NC-BFSK는 수신 신호의 세기가 약 29 dB 이상인 경우에 사용 가능하며, SFH/NC-QFSK와 SFH/NC-8FSK는 약 26.5 dB, 25 dB 이상인 경우에 각각 사용 가능하다. 그림 4와 그림 7, 그림 8의 결과로부터 AWGN 환경에서  $M$ 값이 증가함에 따라 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있으며, WPBJ에서는  $M$ 이 2보다 큰 경우  $M$ 값의 증가에 따른 이득은 얻을 수 없을

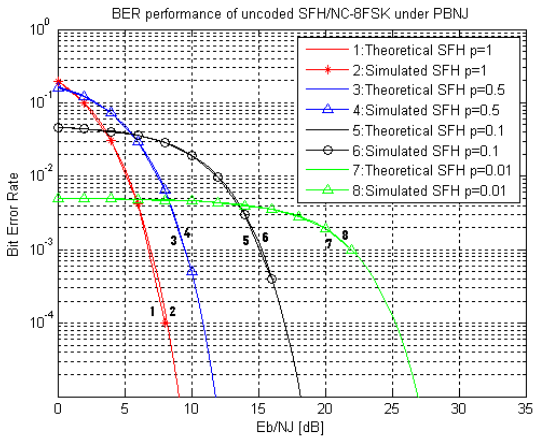


그림 6. PBNJ에서 SFH/NC-8FSK의 BER 성능  
Fig. 6. BER performance of SFH/NC-8FSK under PBNJ.

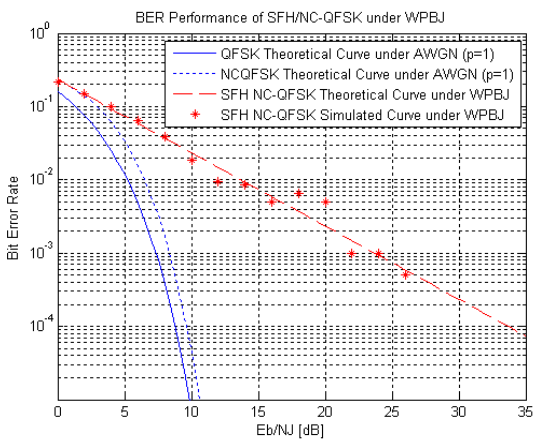


그림 7. WPBJ에서 SFH/NC-QFSK의 BER 성능  
Fig. 7. BER performance of SFH/NC-QFSK under WPBJ.

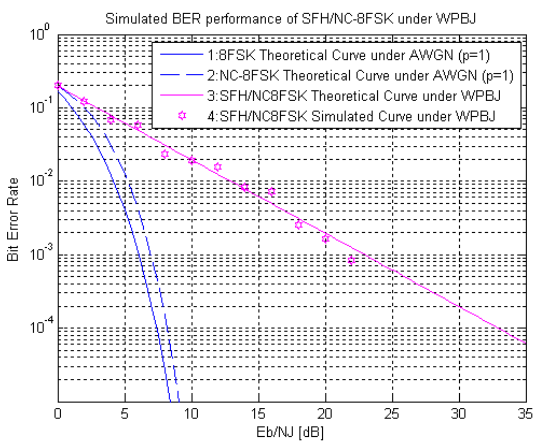


그림 8. WPBJ에서 SFH/NC-8FSK의 BER 성능  
Fig. 8. BER performance of SFH/NC-8FSK under WPBJ.

을 알 수 있다.

### 3-2 SFH/SDPSK를 사용하는 경우

PBNJ에서 채널 부호화를 사용하지 않는 SFH/SD-PSK의 BER 성능은 식 (11)과 같이 구할 수 있다<sup>[4]</sup>.

$$P_b = \frac{\rho}{2} \cdot e^{-\rho(E_b/N_J)}. \quad (11)$$

그림 9는 SFH/SDPSK의 시뮬레이션 결과와 식 (11)의 이론적인 결과를 나타낸다. 그림 9로부터 PBNJ에서 SFH/SDPSK의 BER 성능이 SFH/NC-BFSK의 경우와 유사하게 큰  $\rho$  값에서는  $E_b/N_J$ 이 작을 때 가장 성능이 좋지 않으며,  $\rho$  값이 작을 때에는  $E_b/N_J$ 이 클 때 가장 나쁜 성능을 보였다.

WPBJ에서 SFH/SDPSK의 BER 성능 분석을 위해  $P_b$  값을 최대로 하는  $\rho^*$ 를 식 (12)와 같이 구할 수 있으며, 이때의  $P_b$ 는 식 (13)과 같이 구할 수 있다<sup>[2],[4],[5]</sup>.

$$\rho^* = \frac{1}{(E_b/N_J)}, \quad (12)$$

$$P_b = \begin{cases} \frac{1}{2} \exp(-E_b/N_J), & E_b/N_J < 1 \\ \frac{1}{2e(E_b/N_J)}, & E_b/N_J \geq 1 \end{cases}. \quad (13)$$

그림 10은 WPBJ에서 채널 부호화를 사용하지 않는 SFH/SDPSK의 BER 성능을 나타낸다. 그림 6으로부터 이론적인 결과와 시뮬레이션 결과가 유사하게 나타나는 것을 알 수 있으며, WPBJ에서 SFH/SDPSK의 성능이 AWGN에서의 성능과 비교하여 BER이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

### 3-3 SFH/GMSK를 사용하는 경우

채널 부호화를 사용하지 않는 SFH/GMSK가 1-bit 시차 검출과 함께 사용될 경우, SFH/GMSK의 이론적인 BER을 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 시뮬레이션을 통해 성능 평가를 수행하였으며, 시뮬레이션 환경은 SFH/NC-MFSK의 경우와 같게 설정하였다. 또한, GMSK는 기저대역 신호를 가우시안 필터에 통과시켜 전송 성능을 향상시키는 방식으로, 시뮬레이션을 위해 BT(Bandwidth Time product)라는 추가적인 파라미터가 필요하다. 이때 BT는 normalized bandwidth를 의미하며, 가우시안 필터의 통과 대역과

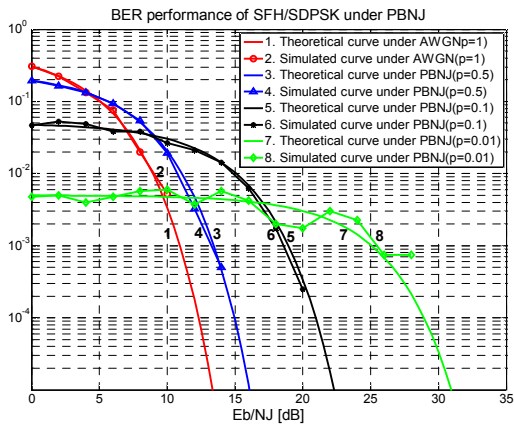


그림 9. PBNJ에서 SFH/SDPSK의 BER 성능  
Fig. 9. BER performance of SFH/SDPSK under PBNJ.

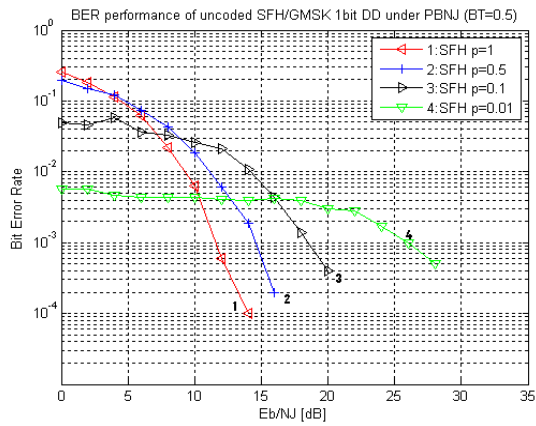


그림 12. PBNJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능(BT=0.5)  
Fig. 12. BER performance of SFH/GMSK under PBNJ (BT=0.5).

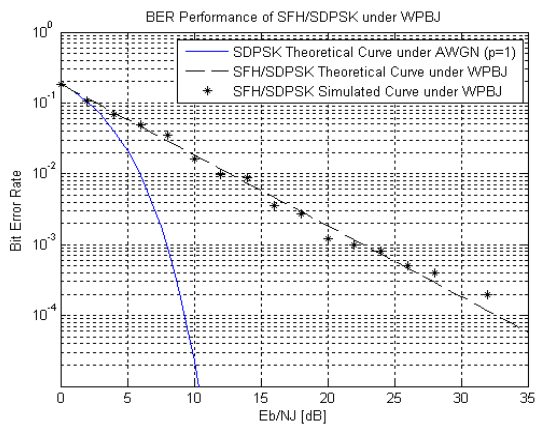


그림 10. WPBJ에서 SFH/SDPSK의 BER 성능  
Fig. 10. BER performance of SFH/SDPSK under WPBJ.

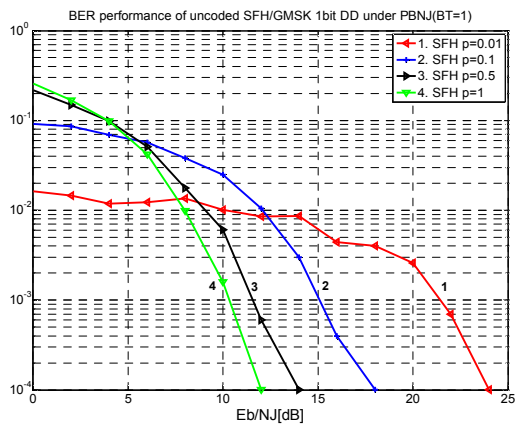


그림 13. PBNJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능(BT=1)  
Fig. 13. BER performance of SFH/GMSK under PBNJ(BT=1).

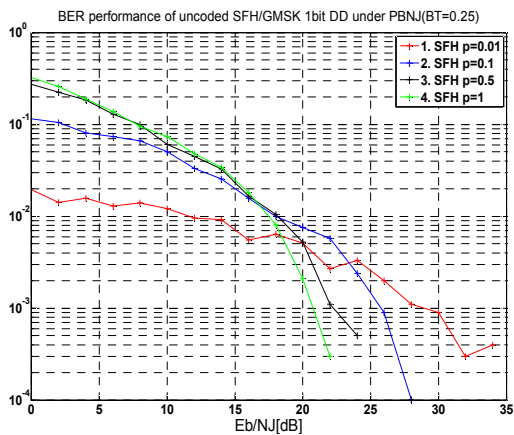


그림 11. PBNJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능(BT=0.25)  
Fig. 11. BER performance of SFH/GMSK under PBNJ (BT=0.25).

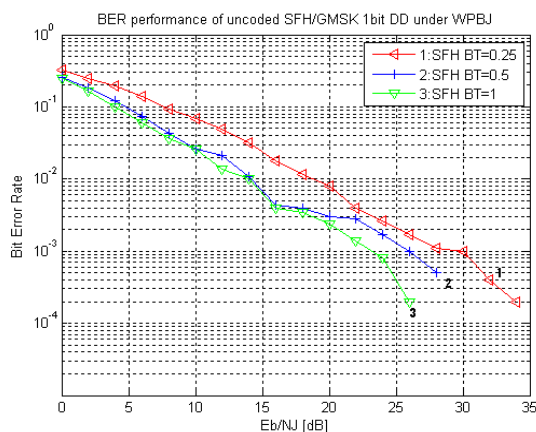


그림 14. WPBJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능  
Fig. 14. BER performance of SFH/GMSK under WPBJ.

심벌 주기를 곱하여 얻을 수 있다.

그림 11~13은 BT(Bandwidth Time product)가 각각 0.25, 0.5, 1인 경우 PBNJ에서 1-bit 시차 검출을 사용하는 SFH/GMSK의 BER 성능을 나타낸다. 위 결과로부터  $E_b/N_J$ 가 작을 때에는  $\rho=1$ 일 때 재밍에 의해 BER이 가장 높게 나타났으며,  $E_b/N_J$ 가 클 때에는  $\rho$ 가 작을 때 BER이 가장 높게 나타났다. 또한, BT가 커질수록 BER 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이는 BT가 커질수록 심볼 주기가 커지기 때문이다.

WPBJ에서 SFH/GMSK의 BER 성능을 수학적 분석을 통해 얻기는 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 각  $E_b/N_J$  값에서 BER 성능이 가장 좋지 않을 때의  $\rho$  값을 선택하였다. 그림 14는 WPBJ에서 BT가 각각 0.25, 0.5, 1일 때 SFH/GMSK의 BER 성능을 나타내었다. 그림 14의 결과로부터 SFH/GMSK가 사용될 경우, WPBJ에서의 성능이 다른 변조 방식이 사용될 경우와 유사한 것을 알 수 있으며, 또한, PBNJ의 경우와 마찬가지로 BT가 작을수록 BER이 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

#### IV. 변조 방식 선택

III장에서 분석된 결과를 이용하면 전송 환경에 따라 최적의 변조 방식과 파라미터 값을 선택할 수 있다.

위성 통신 시스템에서 무선 채널에서의 타깃 BER이 정해져 있고, 현재의 채널 상태를 알 수 있다면 III장에서의 BER 성능 분석 결과를 이용하여 변조 방식과 파라미터를 설정할 수 있다. 한 예로 타깃 BER이 0.001이고 현재 채널에  $\rho=0.1$ 의 특성을 갖는 재밍 신호가 존재하는 경우 SFH/NC-BFSK와 SFH/SDPSK는 약 19 dB 이상에서 사용할 수 있으며, SFH/NC-QFSK는 약 16 dB, SFH/NC-8FSK는 약 15 dB에서 각각 사용 가능하다. 또한, BT가 0.5인 SFH/GMSK에서는 약 18 dB 이상에서 사용 가능하며, BT를 증가시킬 경우 수신 신호의 세기가 보다 낮은 경우에도 사용 가능함을 그림 11~14를 통해 알 수 있다.

또한, III장의 분석 결과에서 WPBJ에서 분석된 결과를 이용하면 위성 통신 시스템 설계 후 최악의 성능을 예측할 수 있어 변조 방식 및 파라미터 설계 시

참고 자료로 활용할 수 있을 것이다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 SFH 시스템에서 변조 방식으로 각각 NC-MFSK와 SDPSK, GMSK가 사용될 경우의 BER 성능을 두 가지 재밍 환경에서 살펴보았다. 성능 분석 결과, 재밍 환경에서  $\rho$ 가 큰 경우  $E_b/N_J$ 가 클 때 유리하며,  $\rho$ 가 작은 경우  $E_b/N_J$ 를 작게 설정하는 것이 유리하다. 위 결과를 활용하면 무선 통신 시스템 설계 시 재밍의 특성에 따라 데이터 전송 성능을 향상시키기 위한 최적의 변조 방식 및 파라미터 값을 결정할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz, and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbook*, pp. 475-480, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [2] S. W. Houston, "Modulation techniques for communication, Part I: Tone and noise Jamming performance of spread spectrum M-ary FSK and 2, 4-ary DPSK waveforms", *Proc. IEEE National Aerospace and Electronics Conference(NAECON '75)*, Dayton, Ohio pp. 51-58, Jun. 1975.
- [3] J. S. Lee, R. H. French, and L. E. Miller, "Probability of error analyses of a BFSK frequency hopping system with diversity under partial-band Jamming interference-Part I: Performance of square-law linear combining soft decision receiver", *Proc. IEEE Trans. on Communications*, vol. COM-32, pp. 645-653, no. 6, Jun. 1984.
- [4] R. L. Peterson, R. E. Ziemer, and D. E. Borth, *Spread Spectrum Communications*, pp. 68-75, 337-350, Prentice Hall, 1995.
- [5] J. S. Lee, L. E. Miller, "Probability of error analyses of a differential phase shift keyed/frequency hopping spread spectrum communication system in the partial-band Jamming environments", *Proc. IEEE Trans. on Communications*, vol. COM-30, no. 5, pp. 943-952, May 1982.

박 우 철



1987년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)

1992년: 고려대학교 전자통신학과 (공학석사)

2007년~현재: 아주대학교 NCW학과 박사과정

1986년 12월~1994년 2월: Litton 연구소

1994년 3월~1996년 8월: AirTouch 연구소

1996년 8월~2005년 12월: AirMedia 연구소장

2006년~현재: 방위사업청 위성통신팀장

[주 관심분야] 위성 통신, 무선 이동 통신(Ad-hoc)

김 재 현



1987년~1996년: 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업

1997년~1998년: 미국 UCLA 전기전자과 박사 후 연수

1998년~2003년: Bell Labs, Performance Modeling and QoS Management Group 연구원

2003년~현재: 아주대학교 전자공학부 부교수

[주 관심분야] 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15/16/20, 3GPP, 국방 전술네트워크 등

고 광 춘



2008년: 아주대학교 전자공학부 (공학사)

2010년: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)

2010년~현재: 아주대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 무선망 QoS, 위성 통신 등

김 기 근



1992년~현재: 국방과학연구소 연구원

2008년~현재: 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

[주 관심분야] 위성 IP Network, 위성 데이터 링크 등