

# 퍼지 시스템을 이용한 Giga-Bit MODEM 의 BASK 시스템 성능 개선

## The Performance Improvement of BASK System of Giga-Bit MODEM Using the Fuzzy System

엄기환\*, 이규윤  
(Ki-Hwan Eom and Kyu-Yun Lee)

**Abstract :** This paper proposes an automatic bandwidth control method for the performance improvement of Binary Amplitude Shift Keying (BASK) system for Giga-Bit Modem in millimeter band. In order to improve the performance of the BASK system with a fixed bandwidth, the proposed method is to adjust a bandwidth of low pass filter in receiver using the fuzzy system. The BASK system consists of a high speed shutter of the transmitter and a counter and a repeater in receiver. The repeater consists of four stage converters, and a converter is constructed with a low pass filter and a limiter. The inputs to the fuzzy system are the remainder and integral of remainder of counter, and output is a bandwidth. We used a Viterbi algorithm to find the optimum detection from the output of the counter. Simulation results showed that the proposed system improves the performance compared to the fixed bandwidth.

**Keywords :** BASK, Giga-Bit MODEM, bandwidth, low pass filter, fuzzy system

### I. 서론

밀리미터파 대역은 높은 데이터 전송률을 위해 필요한 풍부한 스펙트럼 공간을 제공한다. 저주파수 대역에서는 다른 응용을 위한 스펙트럼 공간은 이미 포화상태이다. 그러나 밀리미터파 대역은 아직 연구가 진행 중이기 때문에 다른 대역에 비해 이용이 자유롭고, 큰 대역폭을 가지는 장점이 있다. 밀리미터파 대역에서 giga-bit 모뎀을 위한 여러 가지 통신 시스템 즉 BASK, BPM, 4-QAM 등이 있으며, 각 시스템의 성능 개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 밀리미터파 대역에서 디지털 기저 대역 신호는 대부분 rectangular pulse train이다. Rectangular pulses가 대역 한계 채널을 통과할 때, pulse는 즉시 전개되고, 각 symbol을 위한 pulse는 다음 심벌의 간격까지 방해한다. 이것은 ISI(심벌간 간섭, Intersymbol Interference)의 원인이 되고, symbol을 검출할 때 수신기의 error가 생성될 확률을 높게 된다. ISI를 최소화하기 위한 방법으로 likelihood sequence estimation, whitened matched filters and decision-feedback equalization 등 많은 방법들이 있다[3]. ISI의 최소화를 위한 접근방법 중 하나는 pulse shaping기술을 이용하는 것이다. 이동통신에서 쓰이는 가장 유명한 pulse shaping 필터는 raised cosine filter가 있다. 그러나 raised cosine filtered pulses가 RF파형의 최대값과 항상 일치하지는 않는다[3-5].

또한 Heterodyne방식에서 IF 처리과정은 수신기의 이득과 선택감도 등을 제공하지만, 아날로그 변환 단계가 증가할수록 가격 또한 증가한다. 이러한 문제점들을 개선한 BASK 시스템의 송신기는 ISI를 최소화 할 수 있는 pulse shaping을 위해 고속 shutter를 사용한다[1]. 수신기는 SNR개선과 rectangular

pulse train을 만들기 위해 repeater를 사용한다. Repeater는 몇 개의 converter로 이루어져 있고, converter는 LPF(저역 통과 필터, low pass filter)와 limiter로 구성된다. BASK 시스템의 repeater 또한 수신기에 이득과 선택 감도를 제공하고, 더구나 rectangular pulse train을 만든다. 이와 같이 IF 공정이 없는 non-coherent 시스템으로 간단하고 저가이며 잡음에 강한 BASK 시스템은 여러 개의 LPF를 사용하고 있어 대역폭(bandwidth)이 성능에 큰 영향을 미친다[1].

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서의 giga-bit 모뎀을 위한 BASK 시스템의 성능 개선을 위하여 수신기의 LPF의 대역폭을 자동으로 조절하는 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 counter의 값을 이용하여 퍼지 시스템으로 LPF의 대역폭을 자동적으로 조절한다. 즉 수신기의 counter 값은 pattern sequence에 크게 좌우되므로 시스템의 성능개선을 위하여서는 대역폭을 늘리거나 줄이는 조절이 필요하다. 퍼지 시스템의 입력은 counter의 remainder와 remainder의 합이며 출력은 대역폭 조정값이다. 소속 함수는 계산량을 간단하게 하기 위해 삼각형 함수와 사다리꼴 함수를 사용하여 구성하였다. 퍼지 추론 방식은 Mandami의 max-min법을 사용하고, 비퍼지화 방식으로는 무게 중심법을 사용한다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 대역폭이 고정된 방식과 퍼지 시스템을 이용해 대역폭을 가변하는 방식 각각의 BER에 대해 시뮬레이션을 하여 성능을 비교 검토한다.

### II. 고정된 대역을 가진 BASK 시스템

밀리미터파 대역에서 IF 공정이 없는 giga-bit 모뎀의 고정된 대역을 가진 BASK 시스템은 송신기에서 입력 신호의 pulse shaping을 위해 고속의 shutter를 사용하며, ISI를 최소화 할 수 있고, 수신기는 SNR 개선과 rectangular pulse train을 만들기 위해 repeater를 사용한다. 그림 1은 고정된 대역을 가진 BASK 시스템의 블록선도이다[1].

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 1. 25., 채택확정 : 2007. 2. 17.

엄기환, 이규윤 : Electronic Engineering Department Dongguk University  
(kihwanum@dongguk.edu/totoky78@hotmail.com)

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성 사업의 지원으로 수행되었음(R11-1999-058-01006-0).

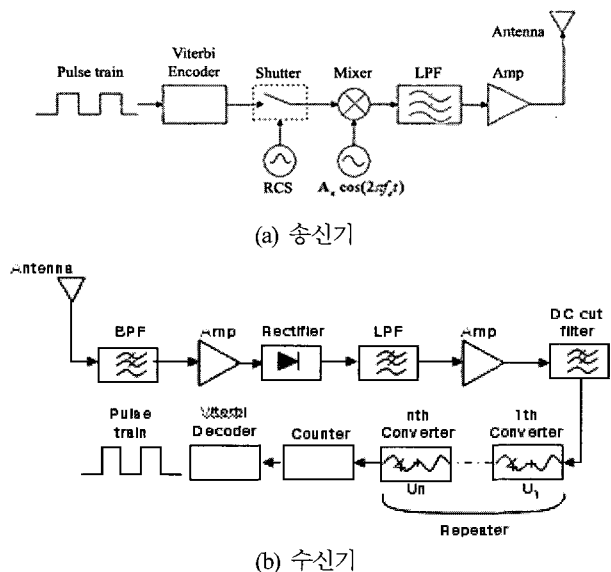


그림 1. 고정된 대역을 가진 BASK시스템의 블록선도.  
 Fig. 1. The block diagram of BASK system with a fixed bandwidth.

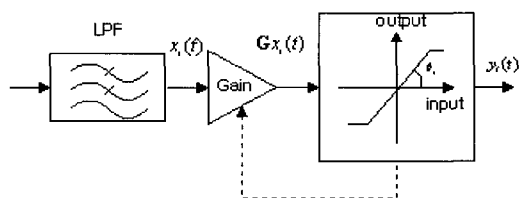


그림 2. Converter의 블록 선도.  
 Fig. 2. The block diagram of a converter.

그림 1(a)의 송신기에서 RCS는 raised cosine 신호 발생기이고, 이것은 raised cosine 신호를 발생시킨다. Raised cosine 신호의 side lobe를 제거하기 위해 송신기에 고속의 shutter를 제안한다. Shutter는 switching window기능을 실행하며 출력은 (1)과 같다.

$$h_s(t) = \begin{cases} \sigma(t) \frac{\sin(\alpha\pi t/T_s)}{\pi t}, & n=1 \\ 0, & n=0 \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $\sigma(t)$ 는 심벌 주기를 위한 이득이고,  $\alpha$ 는 roll-off factor,  $T_s$ 는 심벌 주기, 그리고  $n$ 은 심벌의 상태이다. Shutter의 특징은 상수 포락선을 생성하는 것이다.

또한 그림 1(b)의 수신기는 IF없이 repeater를 사용하였으며, repeater는 몇 개의 converter로 이루어져 있고, converter는 LPF와 limiter로 구성되어 있다.

Converter의 설계 파라미터는 LPF의 대역폭과 limiter의 기울기(SL: Stiffest Limiter)이다. Converter는 정교한 파라미터 조정을 요하지는 않는다. 이론상의 해석은 (2)와 같다.

$$y_i(t) = L(SL(Gx_i(t))) \quad (2)$$

여기서  $Gx_i(t)$ 는 converter의 출력, L은 LPF의 출력, SL은 limiter의 변환 함수, 그리고  $x_i$ 는 limiter의 입력이다. Converter의 블록선도는 그림 2와 같다.

Repeater는 SNR(Signal-to-Noise Ratio)를 향상시킬 수 있고, rectangular pulse train을 만들 수 있다. 또한 디지털 데이터 전송시 오류가 발생하기 때문에 입력 데이터에 일정한 redundancy를 추가하여 오류를 검출 및 수정하여 BER을 개선시키기 위해 viterbi algorithm을 사용하였다[7].

III. 제안하는 성능개선 방식

제안한 방식은 그림 3과 같이 수신기의 counter 값을 이용하여 퍼지 시스템으로 LPF 대역폭을 자동적으로 조절한다.

수신기의 counter 값은 pattern sequence에 따라 크게 좌우되므로 시스템의 성능 개선을 위해서는 대역폭을 늘리거나 줄이는 조절이 필요하다. 퍼지 시스템의 퍼지 규칙을 정하기 위하여 대역폭 변화에 대한 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 조건은 counter는 8bit를 사용하였으며 counter의 remainder는 (3)과 같다.

$$remainder = (X - 8 * \text{round}(X/8)) \quad (3)$$

여기서 X는 counter의 수이다. 그리고 integral of remainder는 구해진 remainder를 합산한 결과이다. 대역폭 변화는 narrow 대역폭인 경우 W=0.5GHz, optimal 대역폭인 경우 W=1.0GHz, wide 대역폭인 경우 W=2.0GHz로 설정하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다.

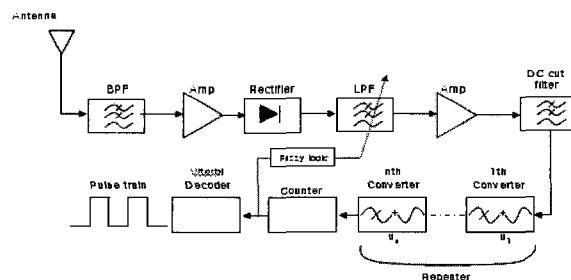
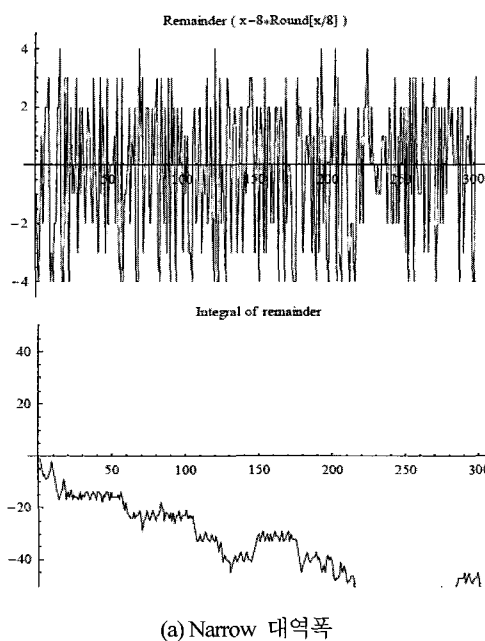
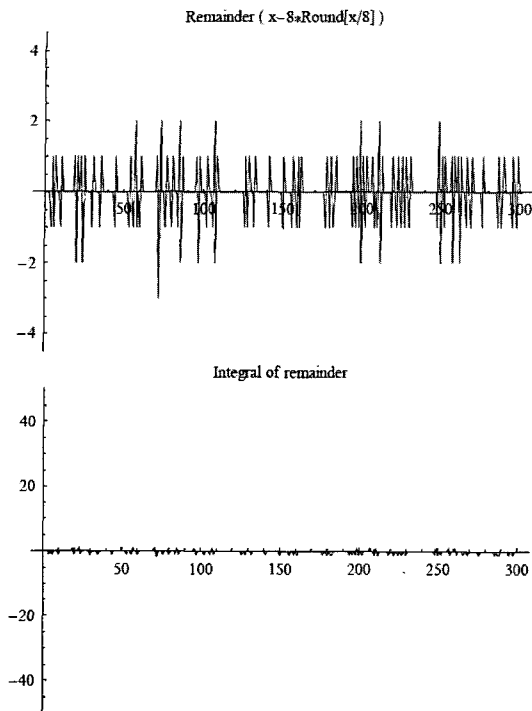


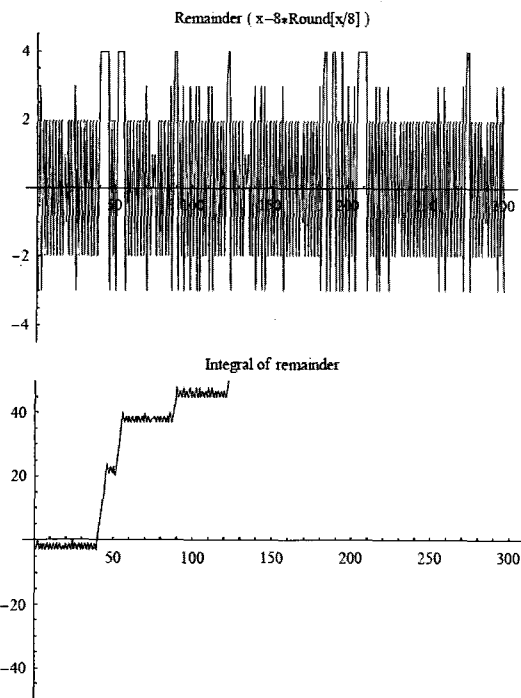
그림 3. 제안한 대역폭 제어 시스템의 블록선도.  
 Fig. 3. The block diagram of proposed bandwidth control system.



(a) Narrow 대역폭



(b) Optimal 대역폭



(c) Wide 대역폭

그림 4. 대역폭 제어를 위한 counter의 시물레이션.  
Fig. 4. Simulation of counter for bandwidth control.

그림 4의 시물레이션 결과를 이용하여 퍼지 시스템의 퍼지 규칙을 정하였다. 퍼지 시스템의 입력은 counter의 remainder와 remainder의 합이며 출력은 대역폭 조정값이다. 퍼지화를 위한 각각의 소속함수는 가장 일반적인 형태의 삼각형 소속함수를 사용하였다. 그림 5는 퍼지 입력의 소속 함수이고 그림 6은 퍼지 출력의 소속 함수이다.

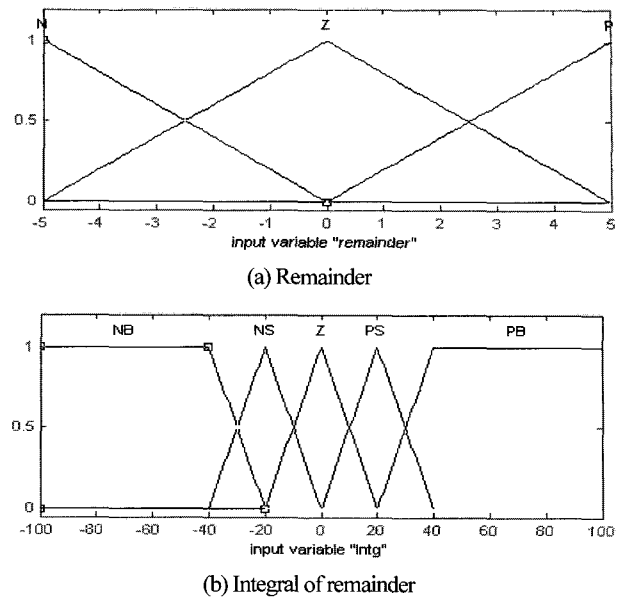


그림 5. 퍼지 입력의 소속 함수.  
Fig. 5. The membership function of fuzzy input.

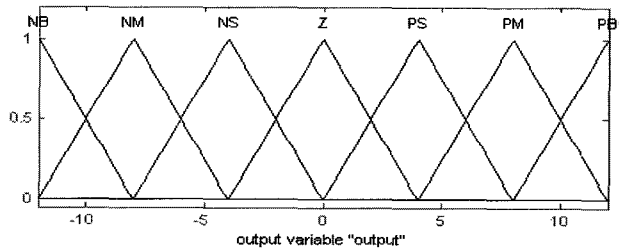


그림 6. 퍼지출력의 소속 함수.  
Fig. 6. The membership function of fuzzy output.

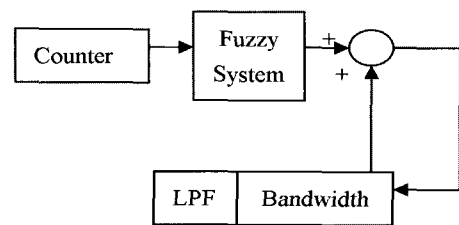


그림 7. 퍼지 시스템을 통한 bandwidth 제어.  
Fig. 7. Bandwidth control through fuzzy system.

퍼지 출력은 최종적으로 출력되는 값, 즉 LPF의 이전 bandwidth에 대한 조정 값으로 사용된다. 여기서 출력 소속함수의 scaling factor는 0.1이며 초기값은 1GHz이다. 그림 7은 퍼지 시스템에 따라 구해진 퍼지 출력 값이 LPF의 bandwidth를 제어하는 과정을 보여주는 블록선도이다.

그림 4의 시물레이션 결과를 이용하여 정한 퍼지 규칙은 표 1과 같으며, (4)와 같이 15개의 rule을 가진다.

표 1과 (4)에서 R과 IR은 각각 remainder와 remainder의 합이며 퍼지 규칙에서 사용한 언어적 변수는 NB(Negative Big), NM(Negative Medium), NS(Negative Small), N(Negative), Z(Zero), P(Positive), PS(Positive Small), PM(Positive Medium), PB(Positive Big)이다.

표 1. 퍼지규칙.  
Table 1. Fuzzy rule.

R \ IR	NB	NS	Z	PS	PB
N	PB	PM	PS	Z	NS
Z	PM	PS	Z	NS	NM
P	PS	Z	NS	NM	NB

- Rule 1 : IF R is N and IR is NB THEN OUTPUT is PB
- Rule 2 : IF R is N and IR is NS THEN OUTPUT is PM
- ...
- Rule 14 : IF R is P and IR is PS THEN OUTPUT is NM
- Rule 15 : IF R is P and IR is PB THEN OUTPUT is NB

퍼지 시스템의 추론 방식은 max-min 추론 방식을 사용하고, 비퍼지화는 무게 중심법을 사용한다[6].

IV. 실험 결과

제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 캐리어 주파수는 60GHz이고, 메시지 데이터 전송률은 1Gbps로 정하였다. SNR을 향상시키기 위해 repeater는 4개를 사용하였으며, repeater내의 limiter의 각도는  $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4$ 로 변환시키며, 이 파라미터들은 정확한 값을 요구하지 않는다. 시뮬레이션에 사용한 값은  $\theta_1 = 56.3^\circ$ ,  $\theta_2 = 63.4^\circ$ ,  $\theta_3 = 75.9^\circ$ ,  $\theta_4 = 82.8^\circ$ 로 설정하였다. 수신된 신호에서 발생하는 랜덤오류를 정정하기 위해 마지막 converter를 통과한 신호를 8bit counter를 사용하여 symbol을 검출한다. 8bit counter를 사용하므로 8차의 state를 갖고 가우시안 노이즈의 채널특성을 가지는 viterbi algorithm을 사용한다. Viterbi 알고리즘의 파라미터는 제한 길이 k=7, 코딩율은 1/2, 생성다항식은 8진수 171, 133을 이용하였다[7].

그림 8은 viterbi 알고리즘을 이용한 경우 non-shutter, 그리고 repeater의 앞 단과 뒷 단의 평균 BER을 시뮬레이션한 그래프이다.

그림 8에서 BER이  $10^{-3}$ 일 때, non-shutter, non-repeater, repeater 신호의 SNR은 각각 31dB, 30dB, 22dB 이다. 따라서 repeater를 이용한 경우 SNR이 향상되었음을 알 수 있다.

그림 9는 대역폭을 고정된 경우와 대역폭을 퍼지 시스템에 의하여 자동적으로 제어하는 경우의 BER 성능을 비교한 것이다. 즉 대역폭을 고정된 경우는 그림 8에서 SNR이 가장 우수한 repeater를 이용한 경우이다.

그림 9에서와 같이 제안한 대역폭을 퍼지 시스템에 의하여 자동적으로 제어하는 경우의 BER이  $10^{-3}$ 일 때 SNR이 repeater를 이용하고 대역폭을 고정된 경우보다 약 8dB(14dB-22dB) 개선됨을 확인하였다.

V. 결론

밀리미터파 대역에서의 giga-bit 모뎀을 위한 BASK 시스템의 성능 개선을 위하여 수신기의 LPF의 대역폭을 자동으로 조절하는 방식을 제안하였다. BASK 시스템은 송신기의 고속 shutter와 수신기의 repeater로 구성되어 있다. Repeater는 4개의 converter로 구성되며, converter는 각각 한 개의 LPF와 limiter로 구성된다. 제안하는 방식은 퍼지 시스템을 이용하며, 퍼지 시스템의 입력은 수신기 counter의 remainder와 remainder의 합을 사용하고 출력은 기준 대역폭에 대한 조정 값으로 설정하였다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 대역폭이 고정된 방식과 BER에 대해 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

- 퍼지 시스템은 2입력, 1출력, 퍼지규칙 15개로 간단히 구성할 수 있다.
- 대역폭을 고정된 non-shutter, non-repeater, repeater의 SNR은  $10^{-3}$ 의 BER에서 각각 31dB, 30dB, 22dB로 repeater를 이용한 경우가 보다 좋은 성능을 가진다. 그러나 제안한 시스템은 BER이  $10^{-3}$ 일 때 SNR이 14dB로 repeater를 이용하고 대역폭을 고정된 경우보다 약 8dB(14dB-22dB) 개선되었다.

참고문헌

- [1] 엄기환, 강성호, "Giga-bit modem을 위한 BASK 시스템 설계," 전자공학회 논문지 제 42 권 TC편 제 12 호, Dec. 2005.
- [2] V. R. M. Thyagarajan, R. H. M. Hafez, and D. D. Falconer, "Broadband indoor wireless communication in (20-60)GHz band: Signal strength considerations," *Universal Personal Communication*, vol. 2, pp. 894-899. oct. 1993.
- [3] S. R. Theodore, *Wireless Communications*, Prentice Hall, 2002.

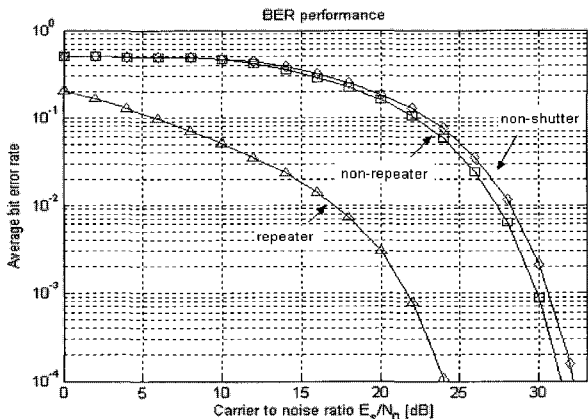


그림 8. Repeater의 사용에 대한 BER 성능의 변화.  
Fig. 8. BER performance for the repeater.

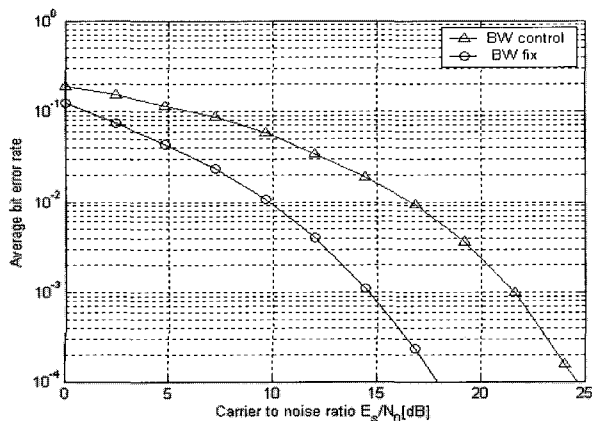


그림 9. BER 성능 시뮬레이션.  
Fig. 9. Simulation of BER performance.

- [4] E. Lindskog and A. Paulraj, "A transmit diversity scheme for channels with intersymbol interference," *IEEE International Conference*, vol. 1, pp. 307-311, June 2000.
- [5] S. Haykin, *Communication Systems*, 4<sup>th</sup> edition, John Wiley Inc., 2000.
- [6] R. Johnston, "Fuzzy logic control," *GEC Journal of Research*,

vol. 11, no. 2, pp. 99-109, 1994.

- [7] M. Hosemann, R. Habendorf, and G. P. Fettweis, "Hardware-software codesign of a 14.4 MBit - 64 state - Viterbi decoder for an application-specific digital signal processor," *Signal Processing Systems*, 2003. SIPS 2003. IEEE Workshop on 27-29 Page(s):45 - 50, Aug. 2003.



**엄 기 환**

1972년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업. 1986년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업. 1994년~현재 동국대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 시스템 응용, 홈 네트워크.



**이 규 윤**

2004년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업. 2007년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업. 관심분야는 시스템 응용.