

---

# 저주파 대역에서 M레벨 FSK시스템의 오류에 관한 연구

김성철\* · 박경호\*

A study for the Error performance of M-FSK system on the Low frequency band

Seong-Cheol Kim\* · Kyung-Ho Park\*

## 요 약

유비쿼터스의 기반기술로서 전송방식과 전송로의 특성은 정보전송의 품질을 좌우하는 요소이며, 음성 데이터, 그래픽 등 동화상 데이터를 포함한 멀티미디어를 저주파 대역에서 임펄스성 잡음 하에서 데이터 전송의 고속 시스템 구축 등이 절실하다. 데이터 전송속도는 전송로의 대역폭과 펄스속도 및 통신방식에 관계된다. 본 논문은 디지털 데이터를 아날로그 신호로 처리하는 통신방식 중 임펄스와 가우스잡음레벨에 고려한 2, 4, 8레벨의 FSK방식의 오류에 관해 연구하여 FDM의 다중화 시스템 설계에 기여하고자 한다.

## ABSTRACT

The communication systems and characteristics of transmit are very importance a serious view of ubiquitous society. The high rate systems have to construct for data of voice, graphics and moving-video with the multimedia to transmit on the low frequency band. The rate of data are relation that there are the bandwidth of line and channels, the bit per second and communication-systems.

This paper study for the error performance of 2, 4 8 level FSK to transmit amount of data in the communication systems and design to FDM system

## 키워드

통신방식, 다처화, FSK, 임펄스, Error

## I. 서 론

유비쿼터스의 기반기술로서 전송방식과 전송로의 특성은 정보전송의 품질을 좌우하는 요소이다.<sup>[1]</sup> 텍스트 정보뿐만 아니라 음성데이터, 그래픽 등 동화상 데이터를 포함한 멀티미디어와 무선인터넷 서비스를 개시하면서 서비스 영역확대에 박차를 가함으로써 데이터 전송의 고속 정보통신망의 구축 등이 절실하다.<sup>[2]</sup>

데이터의 전송 속도는 전송로의 대역폭과 채널 수, 단위 시간 당 펄스의 속도 및 통신 방식에 따라서 결정되며

또한 통신시스템의 다처화에 따라 증가시킬 수 있다.

디지털 데이터를 전송하는데 ASK, AFK, FSK, PSK, QAM방식 등이 PSTN에서 주로 이용되고 있다. FSK는 페이딩하의 선박 SSB 시스템 및 복잡한 배선과 특히, 과도한 유연성이 요구되는 부분의 FSK 무선회선 구축에 활용하려는 것이다. 신호처리 방식 중 저주파 해상 통신에 많이 사용되는 FSK방식을 임펄스와 가우스잡음하에서 2, 4레벨과 8레벨화하여 전송 속도를 향상시키고자 하며, M레벨 FSK시스템의 실용 오류에 대하여 연구해 보고자 한다.

## II. FSK 시스템

### 2.1 FSK(Frequency Shift Keying)전송시스템

FSK방식은 그림 2.1과 같이 디지털 신호의 '1'과 '0'에 대응시켜 주파수가 다른 2가지 반송파를 각각 할당하는 방식이다.<sup>[3,4]</sup>

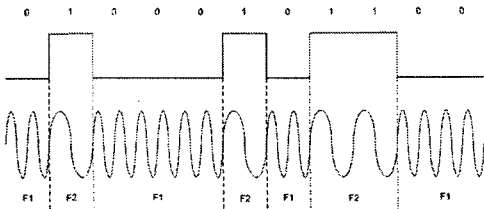


그림 2.1 FSK신호 파형  
Fig 2.1 FSK wave form

FSK신호를 수식( $S_F(t)$ )으로 표시하면 다음과 같다.

$$S_F(t) = S_c \cos(\omega_c + B_k w) t \quad (2-1)$$

단,  $B_k$ 는 복류형 부호(-1,1)로 한다.

$S_c$ 는 반송파 진폭,  $\omega_c$ 는 반송파 주파수

즉,  $\omega_c + B_k w = \omega_1, B_k = -1$

$\omega_2, B_k = +1$

데이터신호의 0은 높은 주파수, 1은 낮은 주파수를 할당해 데이터를 전송하며, 주파수는 0과 1에 대응하여 변화하지만 진폭은 항상 일정(이의 역도 성립)한다.<sup>[5]</sup>

#### 2.1.1 BFSK 변조

BFSK(Binary FSK)는 가장 단순하고 널리 사용되는 디지털 변조의 한 형식으로 저속 모델에 널리 사용하며 BFSK는 베이스밴드 신호의 펄스값이 0이나 1에 따라 주파수가 교환된다.

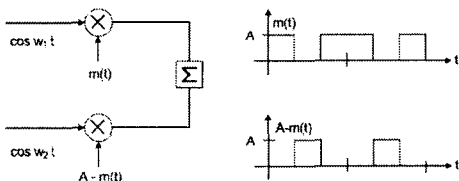


그림 2.2 BFSK 변조  
Fig. 2.2 BFSK modulation

주파수 편이를  $\Delta f$ 라 하면 BFSK 변조신호는

$$S(t) = A \cos 2\pi(f_c - \Delta f)t : 0 \leq t \leq T : 1 \text{인 경우}$$

$$A \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t : 0 \leq t \leq T : 0 \text{인 경우로}$$

단,  $A$ 는 BFSK 파형의 진폭임  
 $\Delta f$ 는 주파수편이

FSK 전송의 요구 대역폭( $Bw$ )는

$$Bw = 2f_m(1 + m_f) = 2(\Delta f + f_m) \quad (2-2)$$

단, 변조지수( $m_f$ )는  $m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$

$f_m$ 은 변조주파수

식2-2를 통해 ASK를 살펴보면 ASK는 진폭변조이므로  $f_m = 0$ 이며 주파수 편이( $\Delta f$ )는 없으므로 FSK는 ASK 보다 더 넓은 전송대역폭이 필요하다.

#### 2.1.2 BFSK 동기 복조

변조된 신호를 복조하는데 동기검파에는 PLL을 사용(곱셈기, LPF, VCO)한다.

##### 1) 동기검파기 계통도

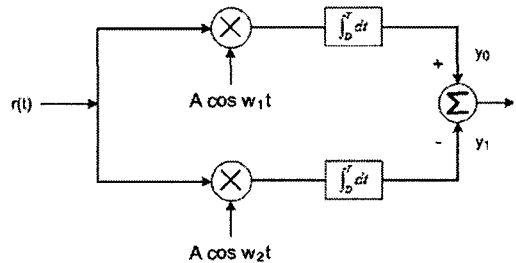


그림 2.3 동기검파기  
Fig. 2.3 Synchronous detector

$\cos(2\pi f_1 t)$ 와  $\cos(2\pi f_2 t)$ 의 국부 발진기를 이용하여 동기 검파를 하면 전송되어 온 부호 비트 1과 0에 대응된 펄스 파형이 출력되며 두 상관기의 출력은 서로 역 위상이 되므로 비교기에서 부호를 정확히 결정할 수 있다.

##### 2) 동기검파출력 파형

다음 그림에서 (a)는 FSK파형이며 (b)는 동기검파기의 출력파형이고 (c)는  $Y_1$ 과  $Y_2$ 의 비교파형이다.

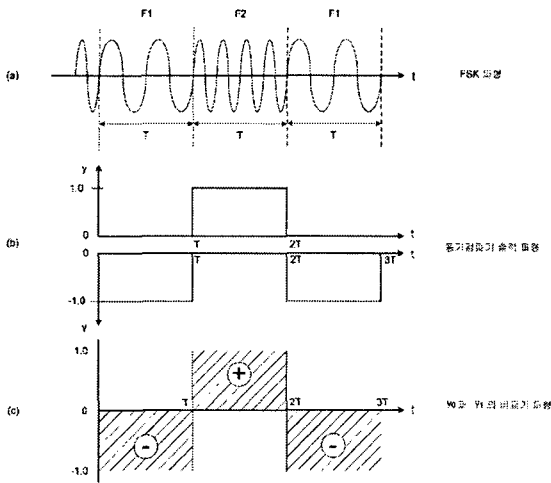


그림 2.4 동기검파 출력파형  
Fig. 2.4 Synchronous detector output wave form

동기검파를 이용하는 경우 특성이 우수하고<sup>[6]</sup> 간단하게 FSK 모델을 구현할 수 있으며, 일정 진폭 특성을 갖기 때문에 잡음에 대한 면역성과 무선전파의 페이딩 및 비선형성에 강하다는 장점이 있다.

### 2.2 저주파대역 전송 FSK시스템

FSK방식을 이용하는 V23 시스템은 전송속도가 600bps 또는 1,200bps로서 동기/비동기 전송, 커플러모듈이 있으며 반2중 통신 백워드 채널 75보(baud)이며 4선식 전용회선에 적용하면 전2중 통신이 가능하다. 오류 제어 등에 사용하는 후방채널(backward channel)이 있다.<sup>[7]</sup>

변조방식은 1,200bps에서는 중심주파수 1,700Hz, 주파수편이  $F_A$ 는  $\pm 400$ Hz이며 2진 부호 0에 대한 특성주파수는 2,100Hz로 되어있다.

600bps 모드에서 중심주파수 1,500Hz, 주파수편이는  $\pm 200$ Hz이다.

V21시스템의 특성주파수에서 소요 대역폭을 줄이기 위하여 2진 데이터 "1"과 "0"을 고채널에서 1,650Hz와 1,850Hz 또 저채널에서 1,180Hz와 980Hz로서 200Hz의 변화를 주파수 변별기와 필터를 사용하고 있다.

본 논문은 V23 시스템과 오울을 분석하여 다음과 같은 M레벨 FSK 시스템을 설계하고자 한다.

## III. FSK시스템의 다치화

데이터 통신에서 부호를 다치화 함으로서 전송속도를 증가시키고 있다. 전송속도를 증가시키기 위한 FSK 시스템의 2, 4, 8레벨에 대하여 해석하고자 한다.

### 3.1 M레벨 FSK

다치화는 통신회선당 단위펄스가 나타내는 상태의 수에 대응하여 그 값은  $\log_2 M$  ( $M=2^n$ ,  $n$ : 비트수)에 비례한다.

데이터의 전송 속도를 증가시키기 위하여 2레벨변조 시스템을 복합하여 4FSK, 8FSK를 구현하므로써 데이터의 전송 속도는 2비트, 3비트 등으로 증가시킬 수 있다.

2FSK는 주파수가 다른 2종류로 0과 1을 표현하지만, 4FSK는 주파수가 다른 4종류로 00, 01, 10, 11을 표현하며 8FSK는 000~111 8종류로 gray 배열 한다. 이는 한번에 2, 3비트의 정보량으로 다치화 할 수 있으며, M값을 크게 할수록 동기 검파에 대한 비트에러 확률을 감소시킬 수 있다.<sup>[8]</sup>

디지털 신호를 그대로 아날로그 신호로 변조하면 주파수 대역이 무한히 넓어지는 것을 필터링하여 방지할 필요가 있다.<sup>[9]</sup>

## IV. M레벨 FSK 오울과 시뮬레이션

### 4.1 FSK의 오울해석

#### 4.1.1. FSK복조 시스템

FSK신호는 식2-1과같이 표현되며 오울특성을 구하기 위해 그림 4.1과 같은 해석모델을 설정하였다. 수신단의 입력은 신호에 임펄스성 잡음이 부가된 형태로 나타나므로 수신 FSK신호의 합성 페이저도는 그림 4.2와 같다. 수신 FSK신호의 페이저가 에러영역에 들어갈 확률이 곧 오울이 된다.

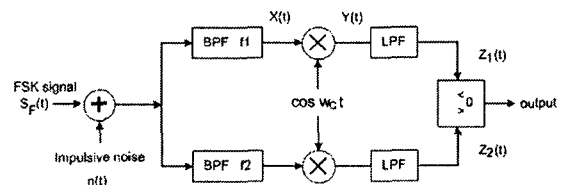


그림 4.1 FSK복조 시스템의 모델  
Fig. 4.1 FSK demodulation system model

임펄스잡음이 가해진 신호가 대역통과필터를 통과하면 다음 식과 같이 표시된다.

$$X(t) = S \cos w_1 t + N \cos (wt + \Phi) \quad (4-1)$$

단, S는 신호진폭, N은 잡음진폭,  $\Phi$ 는 위상각

승적기의 출력신호는 다음 식과 같이 된다.

$$Y(t) = \frac{S}{2} + \frac{S}{2} \cos 4\pi f_1 t + \frac{N}{2} \cos \Phi \quad (4-2)$$

$$+ \frac{N}{2} \cos \Phi \cos 4\pi f_1 t$$

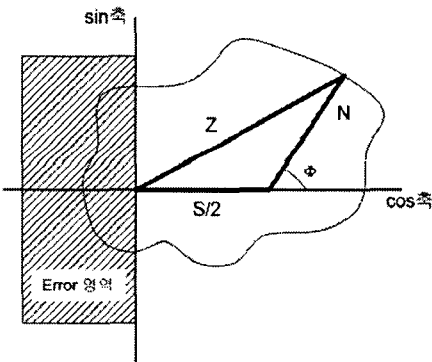


그림 4.2 수신 FSK신호의 합성 페이지도

Fig. 4.2 Composition pager of reception FSK signal

저역통과 여파기를 거치면 고주파성분이 제거되며 출력신호  $z_1(t)$ 는 아래 식과 같이 된다.

$$z_1(t) = \frac{S}{2} + \frac{N}{2} \cos \Phi \quad (4-3)$$

중심주파수가  $f_2$ 인 채널에는 임펄스성 잡음만 존재하므로  $f_2$  채널상의 출력신호  $z_2(t)$ 는 판정 시 다음의 향으로서  $f_1$  채널에 영향을 준다.

$$z_2(t) = \frac{N}{2} \cos \Phi \quad (4-4)$$

따라서 최종판별과정을 거친 출력신호  $z'(t)$ 는

$$z'(t) = z_1(t) + z_2(t) = \frac{S}{2} + N \cos \Phi \quad (4-5)$$

그러므로 오율  $Pe$ 는 그림 4.2에 의하여 다음과 같이 구할 수 있다.

먼저,  $N \cos \Phi = x$  라고 할때

$$P(x) = e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \frac{1}{\sqrt{2\pi w \sigma_i}} \exp(-x^2/2w\sigma_i^2) \quad (4-6)$$

$b_k = 1, -1$ 이 등확률이라 가정하면 그림 4-2에서 Z(합성각)가 에리 영역에 들 확률이 오율이 되므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Pe|_{b_k=-1} = \int_{-\infty}^{-\frac{S}{2}} p(x) dx$$

$$= e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \frac{1}{\sqrt{2\pi w \sigma_i}} \int_{-\infty}^{-\frac{S}{2}} \exp(-x^2/2w\sigma_i^2) dx \quad (4-7)$$

여기서  $\frac{x}{\sqrt{2w \sigma_i}} = t$ 로 치환하여 구하면

$$Pe = e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \frac{1}{\sqrt{2\pi w \sigma_i}} \int_{-\infty}^{-\frac{S}{2\sqrt{2w\sigma_i}}} e^{-t^2} \cdot \sqrt{2w \sigma_i} dt$$

$$= e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{-\frac{S}{2\sqrt{2w\sigma_i}}} e^{-t^2} dt \quad (4-8)$$

식 4-6에서 FSK오율을 구하면

$$Pe = \frac{1}{2} e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \operatorname{erfc}\left[\frac{S}{2\sqrt{2w \sigma_i}}\right] \quad (4-9)$$

그러므로 구하고자 하는 2레벨 FSK 신호의 최종 오율  $Pe$ 는 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$Pe = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \operatorname{erfc}\left[\frac{\sqrt{\alpha}}{\sqrt{2\sigma_i^2}}\right] \quad (4-10)$$

단,  $\alpha(=S^2/2w)$ ; 반송파대 잡음전력비(CNR)

$$\sigma_i^2 = (i/A + \Gamma') / (1 + \Gamma')$$

$$= (i < N^2(t) > / 2 + \sigma_G^2) / (\Omega_{2A} + \sigma_G^2)$$

$\Omega_{2A} = < N^2(t) > / 2$ : 집합평균

$w(= \sigma_G^2 + \Omega_{2A})$ : 전체잡음전력 (가우스잡음 전력 ( $\sigma_G^2$ )과 임펄스성 잡음 전력( $\Omega_{2A}$ )의 합)

$A$ : 임펄스지수(단위시간당 임펄스가 차지하는 비율)

$\Gamma'(\sigma_G^2 / \Omega_{2A})$ : 가우스성잡음 대 임펄스성 잡음의 전력비

4, 8 레벨의 오율은 2레벨과 등확율이므로 2레벨 오율의 2, 4배로 구할 수 있다.

### 4.2 시뮬레이션

FSK 시스템의 2, 4, 8레벨에 대하여 식 4-10에 의하여 오율을 해석하고, 시뮬레이션 하고자 한다.

임펄스잡음 환경 하에서의 M레벨 일반 오율식을 유도한 반송파대 잡음 전력비(CNR), 임펄스지수(A), 임펄스잡음 전력에 대한 가우스성 전력비( $\Gamma'$ )를 파라미터로 수치 해석한 결과 C언어로 프로그램 하여 그림 4.3, 그림 4.4, 그림 4.5, 그림 4.6과 같이 dB별 오율( $P_e$ )을 나타내었다.

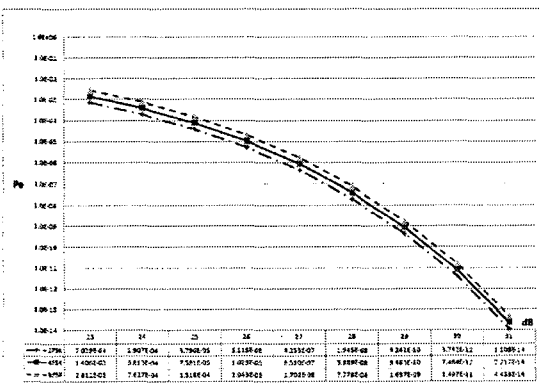


그림 4.3  $A=1.0, \Gamma'=10.0$   
Fig. 4.3  $A=1.0, \Gamma'=10.0$

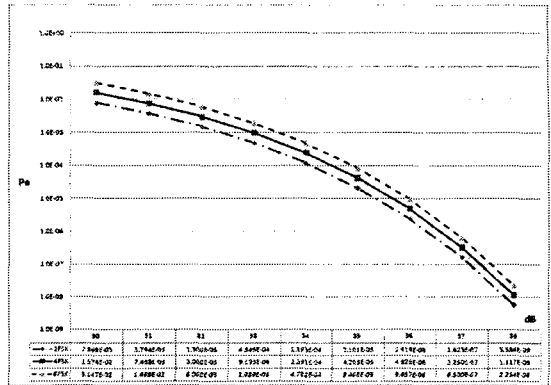


그림 4.4  $A=1.0, \Gamma'=100$   
Fig. 4.4  $A=1.0, \Gamma'=100$

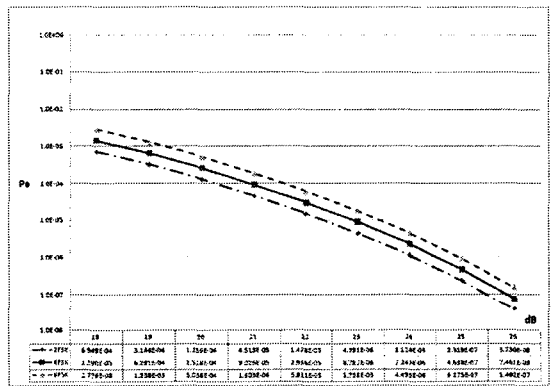


그림 4.5  $A=0.1, \Gamma'=0.001$   
Fig. 4.5  $A=0.1, \Gamma'=0.001$

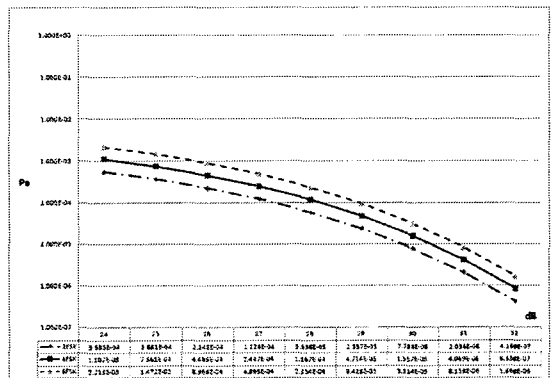


그림 4.6  $A=0.01, \Gamma'=0.001$   
Fig. 4.6  $A=0.01, \Gamma'=0.001$

그림 4.3  $A=1.0$ ,  $\Gamma'=10.0$ 일 때와 그림 4.4  $A=1.0$ ,  $\Gamma'=100$ 일 때는 가우스성 잡음의 영향을 받고, 그림 4.5  $A=0.1$ ,  $\Gamma'=0.001$ 일 때와 그림 4.6  $A=0.01$ ,  $\Gamma'=0.001$ 일 때 임펄스성 잡음의 영향을 받는 오율을 나타낸 것이다.

오율 한계 규정( $1 \times 10^{-5}$ )<sup>[11]</sup>은 가장 임펄스 잡음이 강한  $A=0.01$ ,  $\Gamma'=0.001$  일때, 2FSK는 29dB(약  $2.357 \times 10^{-5}$ ) 4FSK는 30dB(약  $1.557 \times 10^{-5}$ )이며, 8FSK는 30dB(약  $3.114 \times 10^{-5}$ )이었다. 그러므로 상용 시스템의 출력은 60dB 이므로 정보전송 실용상 지장이 없었다.

임펄스성 잡음 환경하에서  $10^{-5}$ 이하의 오율이 M레벨 FSK 변조시스템은 대부분 임펄스에 의해 에러가 발생되며 또한 임펄스성 잡음 환경하에서도  $\Gamma'$  변화에 따라 특성이 변화됨을 알 수 있었다. 일반적으로 낮은 CNR에서는 주로 가우스성 잡음에 의해 신호의 에러가 발생되며 높은 CNR에서는 주로 임펄스성 잡음에 의해 신호 에러가 발생됨을 알 수 있었다.

## V. 결론

FSK는 진폭잡음에 대한 면역성이 강하고, 연속진폭의 특성을 가지므로 레벨 변동에 강하다.

강한 임펄스성 잡음 환경에서는 CNR,을 증가시켜도 오율이 개선되지 않았다.

2FSK의 4, 8레벨로 다치화하여 실용 오율하에서 전송 속도를 2, 3배로 증가할 수 있었다.

M레벨 다치화에 따라 시스템의 성능이 열화 되는데 이것은 정보 전송 대역폭에 의한 데이터전송 속도와 비례 관계임을 알 수 있었다.

향후 급증하는 해양정보통신의 전송 수요를 충족시키기 위하여 페이딩 및 임펄스성 잡음하에서 데이터의 대량 전송 개선 방안으로서 기존 SSB 대역에서 FDM 다중화 시스템을 설계하고 성능을 평가하는데 기여할 수 있겠다.

## 참고문헌

- [ 1 ] 이호근외2, 유비쿼터스컴퓨팅핸드북, 진한도서, p46, 2003.
- [ 2 ] 정경원, 무선인터넷 '눈독', The Electronic Times, May, 4, 2000
- [ 3 ] J.D.Oetting, "A comparison of modulation techniques for digital radio," IEEE Trans. on Comm, vol. COM-27, no.12, pp.1752-1758, Dec. 1979.
- [ 4 ] B.Sklar, "A structured overview of digital communications," IEEE Comm.Magazine, Aug.1983.
- [ 5 ] <http://terms.co.kr/FSK.htm>, Feb, 2000.
- [6,8] 강창언, "디지털통신시스템", 청문각, p220, p243, 1996.
- [ 7 ] 大韓電子工學會, 情報通信工學, 서울, 請文閣, pp85-86, 1998
- [ 9 ] <http://explore.kwangwoon.ac.kr/~ssbae/theory/pcs/wlan.htm>
- [10] 임춘식, "임펄스성잡음환경하에서의 제반디지털변조방식의 오율 특성연구"한국항공대학 석사학위논문, p19, p42~43, 1985.
- [11] 박경호, "4相差動位相變調(DPSK) 시스템에서 데이터의 傳送특성에 관한 研究" 목포해양대학교, 문교부 학술연구조성비에 의한 연구, p35, 1988.
- [12] 조성준, 정보전송의 기초, 선진문화사, p136, 1986.
- [13] <http://members.tripod.lycos.co.kr/kyh232/digital/digital-2.html>
- [14] 宮川 洋 著, 吳世泳 譯, 디지털 통신방식, 청암사, pp.159-200, 1986.
- [15] 金春吉, 데이터통신工學, 동양과학사, pp170-172, 1985.
- [16] C.Britton Rorabaugh, Digital filter designer's handbook, Mx Graw-Hill. 1993.
- [17] Norbert Fliege, "Digital Narrow band psss filters for FSK-Modems", CH2458-8/88/0000 1289©1988 IEEE.
- [18] M. Kavehrad and B. Glance, Polarization-insensitive frequency shift keying optical heterodyne receiver using discrimination demodulation, IEEE J. Lightwave Technol. LT-6(9): 1388-1394(Sept. 1988).

## 저자소개



**김 성 철 (Seong-Cheol Kim)**

2001.2 목포해양대학교 해양  
전자통신공학부 학사

2003.2 목포해양대학교 해양  
전자통신공학부 석사

2003~ 목포해양대학교 해양전자통신공학부 박사과정

※관심분야: 데이터통신시스템, 신호처리, DSP



**박 경 호 (Kyung-Ho Park)**

1985.2 조선대학교 공학박사

2000.2 펜실바니아주립대학교 교환교수

1969.11~ 목포해양대학교 해양  
전자통신공학부 교수

※관심분야: 데이터통신시스템, 컴퓨터구조