

論 文

# 移動體 通信에 미치는 諸般 干涉雜音의 解析

正會員 孫 承 完\* 正會員 孔 炳 玉\*\* 正會員 趙 成 俊\*\*\*

## The Analysis of the Effects of Interference and Noise on Land Mobile Radio Communications

Seung Wan SON\*, Byung Ock KONG\*\* and Sung Joon CHO\*\*\* *Regular Members*

**요 약** 임펄스성 잡음과 동일 채널 간섭이 존재하는 환경하에서 케이딩채널을 통과하는 MSK(Minimum Shift Keying) 신호의 오류의 일반식을 유도하여 반송파 대 잡음 전력비(CNR), 반송파 대 간섭파 전력비(CIR), 임펄스지수, 가우스성 잡음 대 임펄스성 잡음 전력비 및 케이딩 지수를 파라미터로 하여 시스템의 성능을 오류적 측면에서 평가했다. 해석결과, 강한 케이딩하에서는 예러가 주로 가우스성 잡음에 의하여 발생되고 케이딩이 약해지면 가우스성 잡음에 의한 영향이 크게 줄어드는 반면 임펄스성 잡음의 영향은 그다지 줄지 않는다는 것을 알아냈다. 또 신호가 케이딩을 받게 되면 미약한 간섭파일지라도 수신 시스템의 성능을 크게 저하시킨다는 것을 알 수 있었다.

**ABSTRACT** The error rate equation of MSK(Minimum Shift Keying) signal transmitted through the fading channel has been derived in the interference and impulsive noise environments. The error rate performance of MSK system have been evaluated and shown in figures as parameters of carrier-to-noise power ratio(CNR), carrier-to-interferer power ratio(CIR), impulsive index, the ratio of Gaussian noise power component to impulsive noise power component, and fading figure. The results show that, in the fading environmet, the error is occurred more frequently by Gaussian noise in the deep fading, however in the shallow fading, impulsive noise is more dominant than Gaussian noise. And in the presence of interference and fading, interferer deteriorates the MSK receiving system severely even if the interferer is weak.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경

초기의 이동체간의 통신은 주로 항해중인 선박들의 안전운항을 위한 통신수단으로 사용되었으나 오늘날에는 선박은 물론 항공기, 자동차등의 통신수단으로 사용되며 휴대용으로까지 그 범위가 확대되었다. 특히 자동차 보급의 일반화와

신속한 정보교환 매체에 대한 수요가 증가되어 미국에서는 1978년에 가입자 수를 증가시키기 위하여 셀룰러(cellular)개념을 도입한 AMPS(Advanced Mobile Phone Service)<sup>(1)</sup>시스템을 개발하였고 우리나라에서도 1984년부터 이 방식을 이용한 자동차 전화(car phone)가 일반 가입자에게 개방되었다.

셀룰러 방식은 제한된 주파수 채널의 효과적인 이용을 위하여 소규모의 송신시설로 셀(cell)이라는 작은 구역을 담당하도록 하고 일정한 거리를 둔 다른 여러 셀에서도 동일한 주파수를 사용하도록 하는 고용량 통신방식이다.<sup>(2)</sup>

\* \*\* \*\*\* 韓國航空大學 通信工學科  
Dept. of Telecommunication Engineering, Hankuk  
Aviation College, Seoul 122 Korea  
論文番号: 85-18 (接受日字 1985. 5. 9)

그러나 여러 셀에서 동일한 주파수를 사용하므로 이들 셀 사이에 동일채널 간섭 (cochannel interference)<sup>(3)</sup>이 일어나게 된다. 또한 이동 무선통신 회선의 특성상 신호는 다중 전파로 (multipath)를 거치게 되어 신호의 강도가 변화하고, 페이딩 (fading) 현상이 일어난다<sup>(4)</sup>. 이 페이딩현상은 간섭과 함께 시스템의 중요한 열화요인이 되어 페이딩과 간섭문제는 많은 연구자들에 의해 연구 검토되어왔다<sup>(5)~(7)</sup>.

너무나 정보화 사회의 대두와 더불어 영상이나 문자, 컴퓨터에서 생성되는 수치자료 등 다량의 데이터를 신속, 정확하고 효율적으로 전송시키기 위하여 모든 통신망이 점차 디지털화되고 있으며 최근에는 이동 무선 통신분야에서도 디지털 통신이 큰 관심을 모으고 있다<sup>(8)</sup>.

### 1.2 연구목적

이동 무선통신에 관한 연구보다는 지금까지 열잡음과 페이딩의 영향에 관한 것이 수가 되었으나 이동 무선통신 고유의 특성상 동일한 주파수의 재사용으로 인한 동일 채널 간섭과 다중 전파로의 영향을 고려하지 않으면 안된다. 그러나 도시화 및 산업화에 따라 열잡음 특성과는 다른 임펄스성 잡음의 영향까지도 고려의 대상이 된다.

너무나 정보화 사회의 대두와 더불어 이동 무선통신망에서도 디지털 통신방식의 도입이 필연적으로 요구되며 도입이 기대되는 변조방식의 하나는 주파수 이용면에서 효율적의 최소 주파수 편이 (MSK) 변조방식이다<sup>(9), (10)</sup>.

본 논문에서는 MSK 시스템을 고려의 대상으로 하여 이동 무선통신에서 야기되는 다중 전파로 페이딩 및 동일채널간섭과 도시화, 산업화에 따른 임펄스성잡음이 복합적으로 MSK 시스템에 어떤 영향을 미치는가를 誤率의 관점에서 究明함을 목적으로 한다.

### 1.3 연구내용 및 방법

본 논문에서는 이동 무선통신에 있어지의 신호, 간섭파 및 다중 전파로의 특성과 임펄스성 잡음을 통계적으로 해석하고 이동 무선통신에 미치는 다중 전파로의 전송특성, 간섭 및 임펄스성

랜덤 잡음의 영향을 해석한다. 이를 위해 다중 전파로의 특성, 간섭파의 갯수, 반송파 전력 대 잡음 전력의 비(CNR), 반송파 전력 대 간섭파 전력의 비(CIR) 및 임펄스 잡음저수율을 함수로 하여 오류에 관한 일반식을 유도한 후 컴퓨터로 시뮬레이션하여 그 결과를 그래프로 나타내기에 대해 비교 검토한다.

## 2. MSK 시스템

디지털 통신은 기존의 애널로그 통신에 비하여 그 특성이 우수할 뿐만 아니라 서어비스의 종류도 다양하여 모든 통신망이 점차 디지털화되고 있다. 디지털 통신 방식중 FSK 변조 방식은 낮은 비트율 (bit rate)에서 비교적 간편하고 안전한 시스템으로서 많이 이용되고 페이딩에도 강한 특성이 있지만 주파수 대역폭과 오류의 면에서 디지털 ASK (multi-level ASK) 나 PSK 에 뒤 지므로 높은 비트율에서는 많이 이용되고 있지 않다. 그러나 변조지수(modulation index)가 0.5 이고 연속 위상을 갖는 2진 FSK (binary FSK) 는 주파수 대역폭이 좁고 오류이 PSK와 같은 좋은 특성을 갖는다. 이러한 FSK 변조 방식을 MSK 라 부른다.

MSK 신호는 다음의 식으로 표시된다<sup>(11)</sup>.

$$s(t) = S \cos \left\{ \omega_c t + U_k \frac{\pi t}{2T} + \phi_k \right\},$$

$$KT \leq t < (K+1)T \quad (1)$$

이때 S는 신호파의 진폭,  $\omega_c$ 는 반송파의 주파수이고 2진 데이터 열을  $a(t) = [a_0, a_1, a_2, \dots]$ 이라 하면  $U_k$ 는  $-a_{k-1} \cdot a_k$ 인 정보와 관련된 항이며  $\phi_k$ 는 위상이 연속하기 위한 위상 상수 (phase constant)이다.

그림 1에 MSK 파의 톤 간격 (tone spacing)을 보였다.  $U_k$ 가 +1이면  $f_2$ 주파수,  $U_k$ 가 -1이면  $f_1$ 주파수로 전송되어 MSK의 톤 간격은 일반 FSK의 1/2이다.

식(1)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$s(t) = S \sum_{k \in \text{Even}} a_k P(t - KT) \cos \omega_{k1} t \cos \omega_c t$$

$$+ S \sum_{K, \text{odd}} a_K P(t-KT) \sin \omega_R t \cdot \sin \omega_c t \quad (2)$$

단,  $\omega_c = 2 \pi f_c$

$$\omega_R = \frac{\pi}{2T}$$

$$P(t) = \begin{cases} 1 & -T \leq t \leq T \\ 0 & -T > t, t > T \text{ 이다.} \end{cases}$$

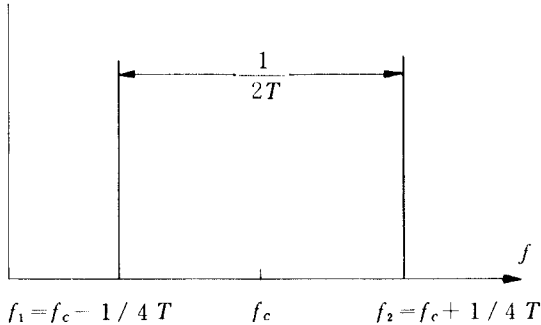


그림 1 MSK의 tone spacing  
Tone spacing of MSK.

그러므로 MSK는 심볼 펄스가 반주기의 정현 파인(sinusoidal pulse weighting) 일종의 OQP SK(Offset Quadrature Phase Shift Keying)로 생각할 수 있다.

MSK 변조 방식은 변조된 신호파형의 포락선이 일정하여 비선형채널에서 우수한 특성이 있고 전력 스펙트럼 밀도의 부로우브(side lobe) 레벨이 다른 방식에 비하여 급격히 감소하므로, 대역폭효율이 다른 방식에 비하여 높다. 그리고 변복조 과정과 동기 회로가 비교적 간단하고 오율특성이 PSK와 같은 우수한 변조 방식이다.

그림 2에는 식(2)에 따른 MSK파형을 나타냈다.

디지털 통신에서 수신 데이터의 오류율 최소화하는 최적 수신 시스템은 정합 필터(matched filter) 등을 이용한 동기검파이다. 동기 검파는 상관 적분기(correlation integrator)로 구성된다.

전송로에서의 제반 영향을 받은 MSK 신호의 수신특성을 연구하기 위해 그림 3과 같은 MSK 수신기를 설정하였다. 신호를 squaring loop에 인가하여 I-채널반송파와 Q-채널 반송파를 복

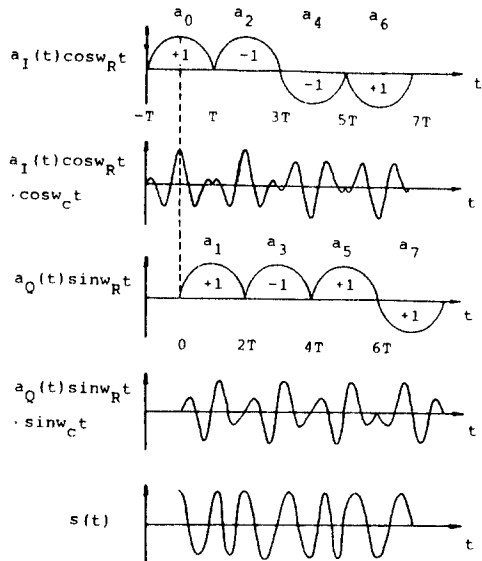


그림 2 MSK 신호파형  
Waveforms of MSK signal.

원한 뒤 이 반송파를 다시 수신된 MSK 신호에 곱하고 저역통과 필터(LPF)에 통과시킨 후 적분 방전 필터(integrate & dump filter)를 거쳐 복조된 데이터를 얻는다<sup>[13]</sup>.

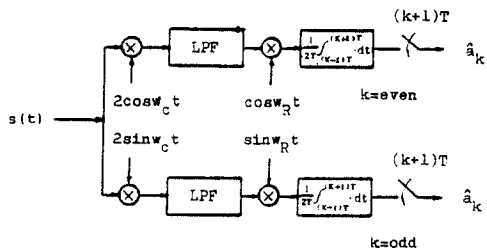


그림 3 MSK 수신기  
MSK receiver.

### 3. 전송로의 특성

#### 3.1 다중 전파로 페이딩

이동 무선 통신 회선상에서 나타나는 일반적인 현상으로는 페이딩을 생각할 수 있다. 전송된 신호는 빌딩과 같은 장애물에 반사되어 서로 다른 여러 전송로를 거치게 되므로 수신단에서는 각기 다른 전송로를 통하여 전파되어온 신호들이 서로 더해지거나 상쇄되어 수신 신호의 강도가 랜덤

하게 변화하게 된다. 신호의 강도는 자동차가 신호파장의  $\frac{1}{2}$  되는 거리를 움직이는 것을 주기로 증가하거나 감소하므로 신호의 주파수가 같거나 자동차의 속도가 빠를 때 더 급격히 변화하게 된다. 이 현상을 **fast** 페이딩 또는 **Rayleigh** 페이딩이라 하며 신호의 진폭  $R$ 는 다음과 같은 Rayleigh 분포를 한다<sup>(4)</sup>.

$$p(R) = \frac{2R}{\Omega} \exp\left[-\frac{R^2}{\Omega}\right], \quad \Omega = \langle R^2 \rangle \quad (3)$$

여기서  $\langle \cdot \rangle$ 는 평균을 의미한다.

그러나 실제 채널의 페이딩은 Rayleigh 페이딩보다 약하거나 강하게 일어날 수 있으므로 본문에서는 이러한 페이딩의 정도를 표현할 수 있는 보다 넓은 의미의 페이딩 모델인  $m$ -분포 페이딩 채널(Nakagami's channel)에 대하여 고려하기로 한다<sup>(13)</sup>.

페이딩을 받는 신호의 포락선  $R$ 의 확률 밀도 함수(probability density function)  $p(R)$ 은 다음과 같이 정의된다.

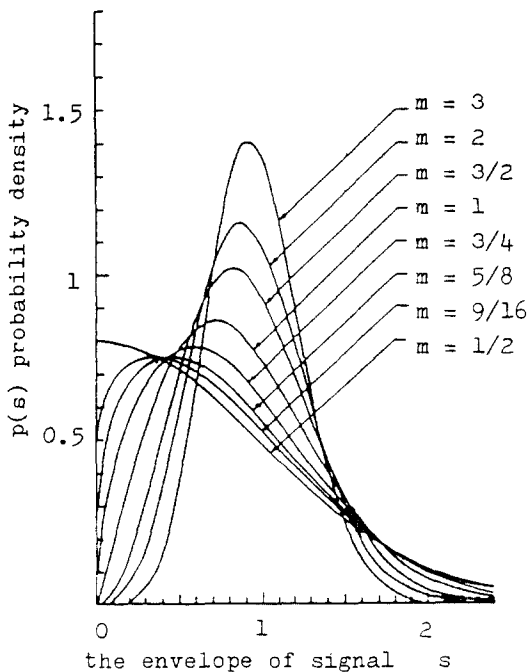


그림 4  $m$ -분포  $m$ -distribution.

$$p(R) = \frac{2 m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left[-\frac{mR^2}{\Omega}\right] \quad (4)$$

$$\Omega = \langle R^2 \rangle, \quad m \geq \frac{1}{2}$$

여기서  $\Gamma(\cdot)$ 는 Gamma 함수이고  $\frac{\Omega}{2}$ 는 신호의 평균전력이 된다.  $m$ 은 페이딩 지수(fading figure)로 페이딩의 정도를 나타낸다.  $m$ 이 1인 경우 이 식은 Rayleigh 페이딩의 경우와 같게 되며  $\frac{1}{2} \leq m < 1$ 인 경우는 Rayleigh 페이딩보다 강한 상태,  $m > 1$ 인 경우는 약한 상태를 나타내며  $m \rightarrow \infty$ 일 때는 페이딩이 없는 경우가 된다.

그림 4에  $m$ -분포의 확률밀도함수를 나타냈다.

### 3.2 동일 채널 간섭

셀룰러 방식은 한정된 주파수의 효율적인 이용을 위하여 전 구역을 셀이라는 작은 구역으로 나누고 그 셀에서만 통신이 가능하도록 미약한 전파를 사용하여 일정거리 이상의 셀에서는 동일한 주파수를 사용하게 된다. 그러므로 이들 셀 사이에는 동일 채널 간섭이 일어나게 된다. 이 간섭 현상을 억제하기 위해서는 동일 채널을 사용하는 셀 사이의 거리를 충분히 유지하여야 한다. 그러나 이동 통신에 대한 수요가 증가되면 통신 회선수를 늘리기 위하여 기존의 셀을 보다 작은 셀로 나누어야 하므로 동일 채널 간섭의 영향은 증가하게 된다. 본 논문에서는 다음과 같은 형태로 동일 채널 간섭과를 가정한다.

$$i(t) = I \cos(\omega_c t + \phi) \quad (5)$$

여기서  $I$ 는 간섭파의 포락선이고,  $\phi$ 는 신호파와 간섭파 사이의 위상차이며 0에서  $2\pi$ 사이에서 일정한 분포를 한다.

### 3.3 임펄스성 잡음

산입화 및 도시화에 따른 전기기기, 전력선, 선전등의 전자기 및 자동차의 점화잡음등은 통신 채널에 큰 영향을 주는 잡음원으로 등장하고 있다. 이들 잡음은 주로 임펄스성을 띠게 된다. 임펄스성 잡음은 산입화되어 기고 도시 환경이 증대됨에 따라 더욱 심각한 양상을 띠게 되어 이

지를 통신계에 큰 간섭을 주게 되었다<sup>11)</sup>. 이에 따라 임펄스성 잡음의 특성과 디지털 통신계에 미치는 영향에 대한 연구가 최근 활발해지고 있다.

임펄스성 잡음의 해석 방법에는 여러가지가 있으나 대표적인 것은 가우스성 잡음 (Gaussian noise)을 제외시키고 임펄스의 모델만 추출하여 해석하는 것과 근본적으로 전자 간섭과 전체에 대하여 해석하는 방법이다. 전자는 임펄스의 모델을 세워 이 임펄스가 갖는 특성을 각 연구자로서 규정짓는 방법이고 후자는 가우스성까지 포함시켜 임펄스성 잡음을 다루게 되므로 보다 실제에 접근한다.

본 논문에서는 D. Middleton의 가우스성 잡음을 포함하는 임펄스성 잡음 모델에 대하여 고찰한다<sup>12)</sup>.

중심주파수  $f_c$ 인 대역통과 회로를 거친 임펄스성 잡음은 다음과 같다.

$$n(t) = N \cos(2\pi f_c t + \zeta) \quad (6)$$

단,  $N$ 과  $\zeta$ 는 랜덤 변수이다. 식(6)에서 임펄스성 잡음의 포락선  $N$ 과 위상  $\zeta$ 의 확률밀도 함수는 다음과 같다<sup>13)</sup>.

$$p(N) = \frac{e^{-A}}{W} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{\sigma_j^2} \exp\left[-\frac{N^2}{2W\sigma_j^2}\right], \quad N \geq 0 \quad (7)$$

단,  $W (= \sigma_c^2 + \Omega_{2A})$ : 전체 잡음 전력 (가우스성 잡음 전력( $\sigma_c^2$ )과 임펄스성 잡음 전력( $\Omega_{2A}$ )의 합),

$A$ : 임펄스 지수 (단위시간당 임펄스가 차지하는 비율),

$N$ : 순시 잡음 포락선,

$\Gamma' (= \sigma_c^2 / \Omega_{2A})$ : 가우스성 잡음 대 임펄스성 잡음의 전력비,

$$\sigma_j^2 = \frac{j/A + \Gamma'}{1 + \Gamma'}$$

이며 위상  $\zeta$ 는  $[0, 2\pi]$ 에 걸쳐 일정한 분포를 한다.

$$p(\zeta) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \zeta \leq 2\pi \quad (8)$$

## 4. MSK시스템의 오율 특성

### 4.1 해석 모델

본 논문에서는 전송로 상에서 일어나는 문제에 대해서만 해석하므로 시스템은 이상적이고 수신기는 송신기와 완전히 동기되었다고 가정한다. 그림 5에 해석모델을 보였다.

여기에서  $s(t)$ 는 신호파이고  $i(t)$ 와  $n(t)$ 는 각각 동일 채널 간섭파와 임펄스성 잡음이다. 페이딩 채널은  $m$ -분포 페이딩 채널로 가정한다.

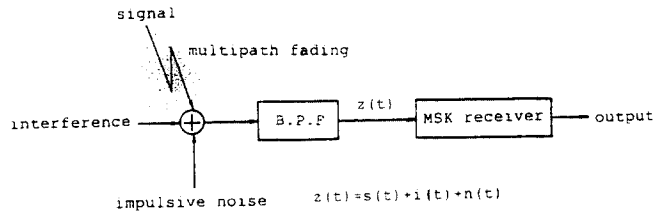


그림 5 해석 모델  
Analysis model.

### 4.2 페이딩 환경하에서 잡음과 간섭에 의한 영향

수신단의 입력은 신호에 간섭파와 잡음이 부가된 형태로 나타나므로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z(t) &= s(t) + i(t) + n(t) \\ &= S \sum_{k \text{ even}} a_k P(t - KT) \cos \omega_R t \cos \omega_c t + S \sum_{k \text{ odd}} \\ &\quad \cdot a_k P(t - KT) \\ &\quad \cdot \sin \omega_R t \sin \omega_c t + I \cos(\omega_c t + \phi) \\ &\quad + N \cos(\omega_c t + \zeta) \end{aligned} \quad (9)$$

MSK수신기는 I-채널과 Q-채널이 서로 대칭인 구조를 갖고 있으므로 그 어느 쪽에 대하여 해석하여도 결과는 동일하다. 해석의 편의상 I-채널에 대해서 해석하여 전체 오율을 구하기로 한다.

수신된 신호에 복원된 반송파를 곱하여 저역 통과 필터를 통과시키고 정현파 펄스를 곱하여 Integrate & Dump 필터를 거친 출력은 각각 다음과 같다<sup>14)</sup>.

i) 신호 성분;  $\frac{S}{2} a_k$  (10)

ii) 간섭 성분;  $\frac{2}{\pi} I \cos \phi$  (11)

iii) 잡음 성분;  $\frac{2}{\pi} N \cos \zeta$  (12)

그러므로 전체 합성 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_k = \frac{S}{2} a_k + \frac{2}{\pi} I \cos \phi + \frac{2}{\pi} N \cos \zeta \quad (13)$$

이때 데이터  $a_k$ 는 +1과 -1의 값을 취할 수 있으므로 전체 오류는 두 값에 의한 오류의 평균치이다. 그러나 +1과 -1은 그 발생 확률이 같아서 전체 오류는 그중 어느 하나를 택하여 해석한 결과와 같다. 여기서는  $a_k$ 가 +1인 경우에 대하여 해석하기로 한다. 이때의 합성 신호의 페이지도를 그림 6에 나타내었다.

잡음과 간섭 성분의 영향에 의하여 합성 신호  $Z_k$ 가 정보  $a_k$ 와 반대되는 부호를 갖게 될 때 즉, 위 페이지도에서 여러 영역에 들어기면 여러가 발생된다. 그러므로 오류는 다음과 같다.

$$P_e = \text{prob} \left\{ \frac{S}{2} + \frac{2}{\pi} I \cos \phi + \frac{2}{\pi} N \cos \zeta < 0 \right\} \\ = \text{prob} \left\{ N \cos \zeta < -\frac{\pi S}{4} - I \cos \phi \right\} \quad (14)$$

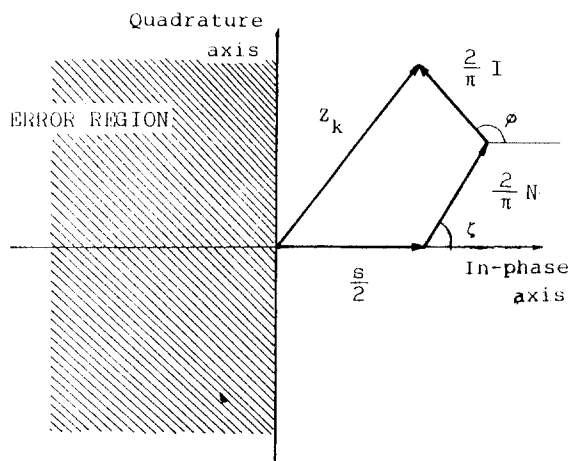


그림 6 합성신호의 페이지도.  
Phasor diagram of received composite signal.

여기서  $N \cos \zeta$ 를 새로운 변수  $U$ 로 치환하고  $N$ 과  $\zeta$ 의 확률 밀도 함수와 Jacobian을 이용하여  $U$ 의 확률 밀도 함수는 다음과 같이 구해진다<sup>15)</sup>.

$$p(U) = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi W \sigma_j}} \exp \left[ -\frac{U^2}{2W \sigma_j^2} \right], \quad -\infty < U < \infty \quad (15)$$

이 식과 식(14)로부터 다음과 같은 조건부 오류 식을 얻을 수 있다.

$$P_e | \phi = \int_{-\infty}^{-\frac{\pi S}{4} - I \cos \phi} p(U) dU \quad (16)$$

이 식의 적분을 풀고  $\phi$ 에 대하여 평균을 취한 다음 정리하면 임펄스성 잡음과 간섭파에 방해를 받는 경우의 오류식은 다음과 같다<sup>16)</sup>.

$$P_e = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left\{ \text{erfc} \left[ \frac{\pi S}{4\sqrt{2W \sigma_j}} \right] + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp \left[ \frac{-\pi^2 S^2}{32W \sigma_j^2} \right] \sum_{k=1}^{\infty} H_{2k-1} \left[ \frac{-\pi S}{4\sqrt{2W \sigma_j}} \right] \frac{(2K-1)!!}{(2K)!!} \frac{I^{2k}}{(2K)! (2W)^k \sigma_j^{2k}} \right\} \quad (17)$$

단,  $H_{2k-1}(\cdot)$ ; Hermite 다항식.

신호가 페이닝을 받게 되면 수신 신호의 강도가 시간에 따라 랜덤하게 변화하게 된다. 그러므로 수신 신호의 진폭  $S$ 는 확률 밀도 함수 "m-분포"를 갖는 변수가 된다. 오류식은 식(17)에 대해 식(4)를 도입하여  $S$ 에 대한 평균을 취하여 구할 수 있다. 즉, 신호가 페이닝을 받는 경우의 오류식은 아래와 같다.

$$P_{ef} = \int_0^{\infty} p(S) P_e dS \quad (18)$$

위의 식에 대해 적분을 풀고 정리하면 아래와 같은 최종 오류식을 구할 수 있다.

$$P_{ef} = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\pi \alpha}{4 m \sigma_j^2}} \frac{\Gamma(m + \frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 & \left(1 + \frac{\pi^2 \alpha}{16m\sigma_j^2}\right)^{-(m+\frac{1}{2})} \\
 & \cdot {}_2F_1\left(1, m + \frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\pi^2 \alpha}{16m\sigma_j^2 + \pi^2 \alpha}\right) \} \\
 & + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{(-1)^k (2^k + 1)!}{\{(K+1)!\}^2 K!} \left(\frac{\alpha}{4\sigma_j^2 \beta}\right)^{k+1} \\
 & \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \alpha}{4m\sigma_j^2}} \frac{\Gamma(m + \frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \\
 & \cdot \left(1 + \frac{\pi^2 \alpha}{16m\sigma_j^2}\right)^{-(m+\frac{1}{2})} \\
 & \cdot {}_2F_1\left(-K, m + \frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\pi^2 \alpha}{16m\sigma_j^2 + \pi^2 \alpha}\right) \} \quad (19)
 \end{aligned}$$

단,  $\alpha = \frac{\Omega}{2W}$ ; 반송파 전력 대 잡음 전력비(CNR),  
 $\beta = \frac{\Omega}{f^2}$ ; 반송파 전력 대 간섭파 전력비(CIR),  
 $\Gamma(\cdot)$ ; Gamma 함수,  
 ${}_2F_1(\cdot; \cdot; \cdot)$ ; Hypergeometric 함수,  
 $m$ ; 페이딩 지수,  
 $A$ ; 임펄스 지수.

### 5. 수치 계산 및 검토

식(19)의 오율식에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 반송파 대 잡음 전력비(CNR), 반송파 대 간섭파 전력비(CIR), 페이딩 지수( $m$ ), 임펄스 지수( $A$ ) 및 가우스성 잡음 대 임펄스성 잡음의 전력비( $\Gamma'$ )를 변수로 하여 구하였다.

그림 7 ~ 그림 12에 MSK 수신 시스템에 미치는 잡음의 영향을 보였다. 잡음 전력이 일정한 경우 전체 잡음 전력중 임펄스성 전력 성분이 크고 임펄스의 발생 빈도가 적을 때 임펄스성이 강한 잡음이 된다. 그래프 상에서는  $\Gamma'$ 와  $A$ 가 작을수록 임펄스성이 강한 잡음이다.  $\Gamma'$ 와  $A$ 값을 변화시켜  $A$ 가 1에 가까워지고  $\Gamma'$ 가 증가하게 되면 오율특성이 가우스성 잡음의 경우에 접근한다는 것을 알 수 있다.

신호가 페이딩을 받지 않는 경우 CNR이 증가

되면 가우스성 잡음의 영향은 크게 감소한다. 그러나 임펄스성이 강한 잡음이 존재하면 CNR이 증가하여도 오율특성이 크게 개선되지 않으므로 임펄스성 잡음은 디지털 통신계에 큰 영향을 미치게 된다. 반면에 신호가 Rayleigh 페이딩을 받는 경우에는 CNR이 높은 곳에서도 가우스성잡음에 의한 오율특성이 임펄스성 잡음에 의한 오율특성보다 열화되어 있다. 그러므로 신호가 강한 페이딩을 받게 되면 에러(error)는 주로 가우스성 잡음에 의하여 발생된다고 할 수 있다.

그림 13과 그림 14에 페이딩 지수( $m$ )의 변화에 따른 오율특성을 나타냈다. 여기서  $m$ 이 1이면 Rayleigh 페이딩을 나타내고  $m$ 이  $\infty$ 이면 페이딩이 없는 경우이다. 페이딩 지수에 따른 오율의 변화는 가우스성 잡음일 때가 가장 크고 임펄스성이 강해질수록 작아진다. 그러므로 페이딩이 강할 때는 가우스성 잡음이 주된 열화요인이 되지만 페이딩이 약해지면 가우스성 잡음에 의한 영향은 크게 줄어드는 반면, 임펄스성 잡음의 영

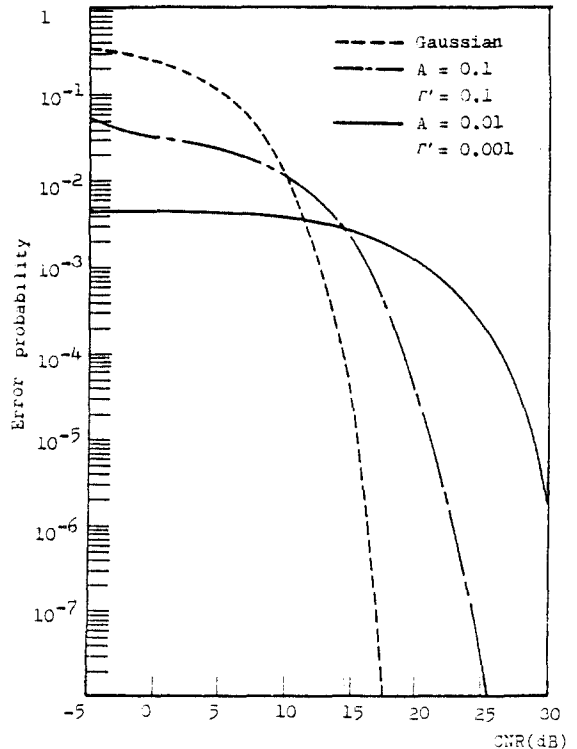


그림 7 임펄스도에 따른 MSK 신호의 오율 Bit error rate of MSK signal with impulsiveness.

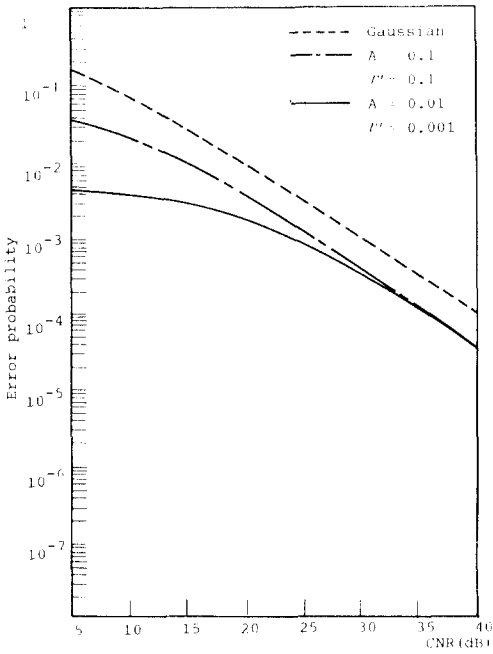


그림 8 임펄스성에 따른 MSK 신호의 오류 (Rayleigh 페이딩 채널의 경우)  
Bit error rate of MSK signal with impulsiveness in the Rayleigh fading channel.

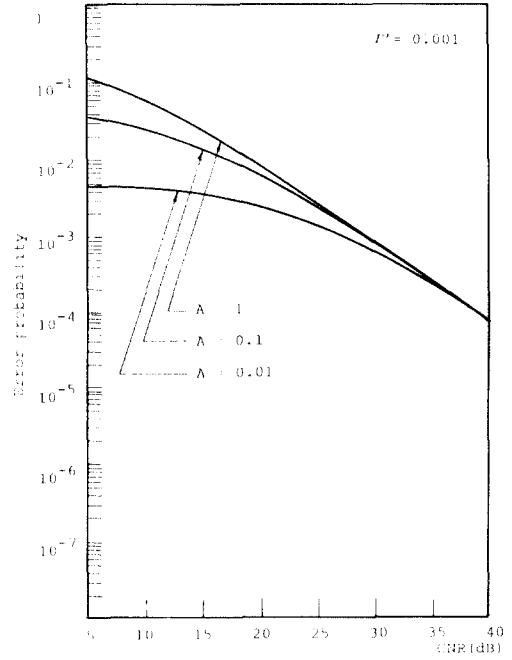


그림 10 임펄스성 잡음 환경하에서 A의 변화에 따른 MSK 신호의 오류 (Rayleigh 페이딩 채널의 경우)  
Bit error rate of MSK signal with the variation of A in the environment of impulsive noise and Rayleigh fading.

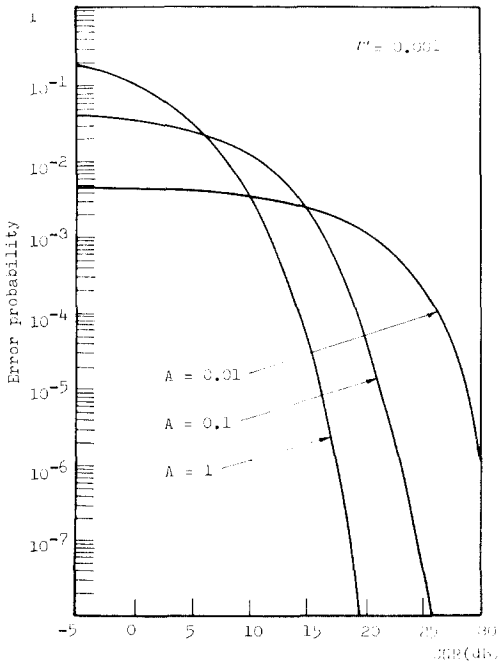


그림 9 임펄스성 잡음 환경하에서 A의 변화에 따른 MSK 신호의 오류.  
Bit error rate of MSK signal with the variation of A in the impulsive noise environment.

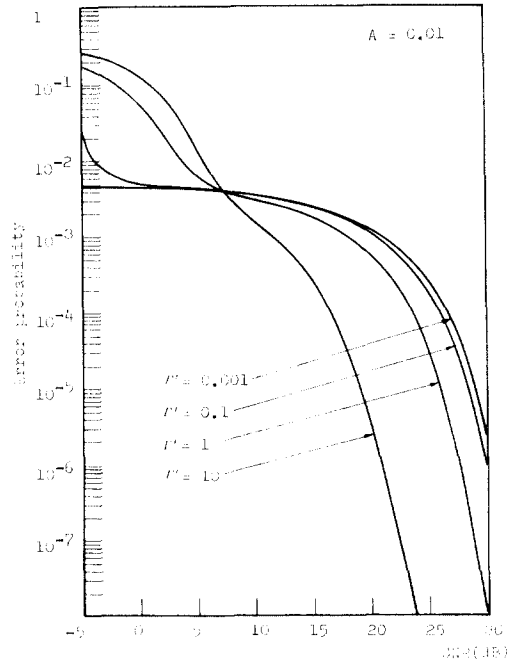


그림 11 임펄스성 잡음 환경하에서 I''의 변화에 따른 MSK 신호의 오류  
Bit error rate of MSK signal with the variation of I'' in the environment of impulsive noise.



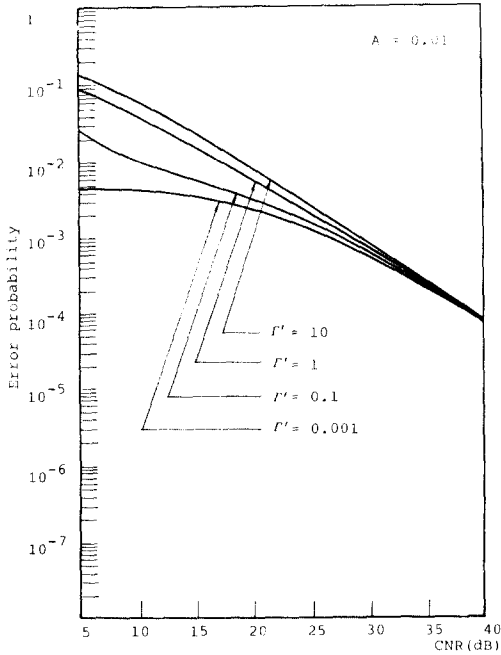


그림12 임펄스성 잡음 환경하에서  $I'$ 의 변화에 따른 MSK 신호의 오류율 (Rayleigh 페이딩 채널의 경우)  
Bit error rate of MSK signal with the variation of  $I'$  in the environment of impulsive noise and Rayleigh fading.

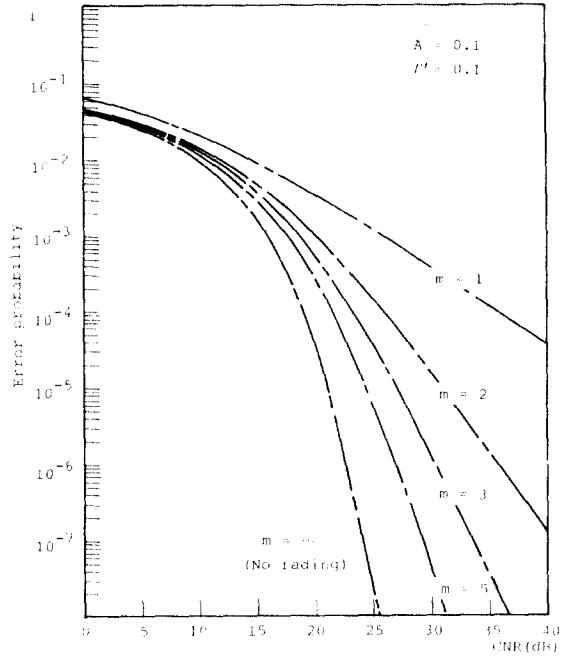


그림14 페이딩 채널상에서 MSK 신호의 오류율 ( $A = 0.1, I' = 0.1$ 의 경우)  
Bit error rate of MSK signal in the fading channel (impulsiveness;  $A = 0.1, I' = 0.1$ ).

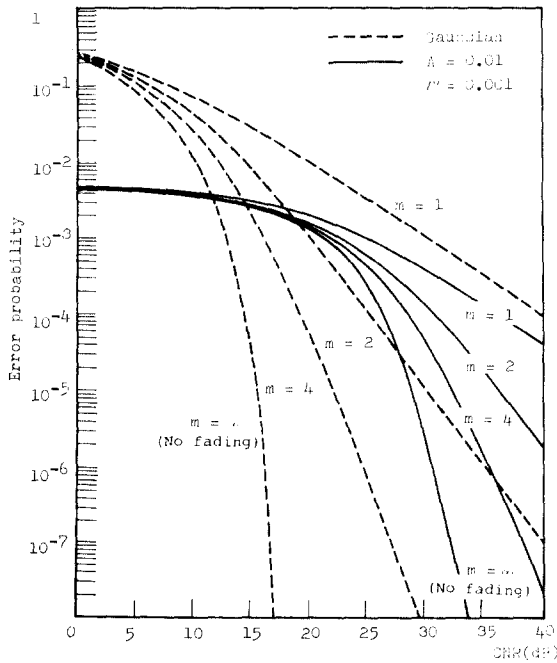


그림13 페이딩 채널상에서 MSK 신호의 오류율 (가우시안 잡음과  $A = 0.01, I' = 0.001$ 의 경우)  
Bit error rate of MSK signal in the environment of noise and fading.

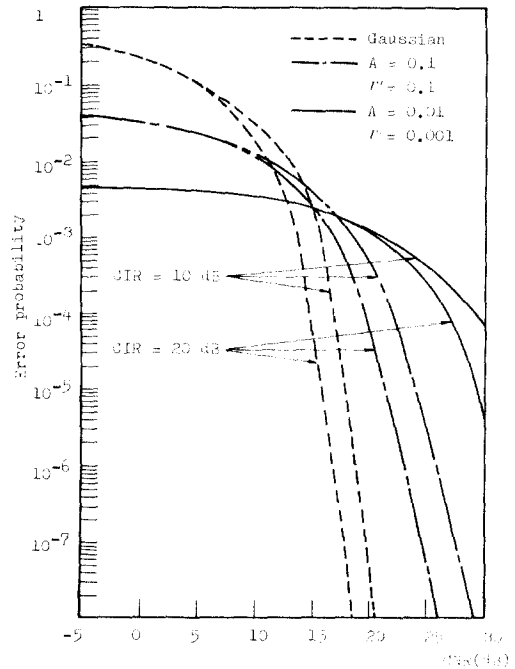


그림15 간섭 환경하에서 MSK 신호의 오류율  
Bit error rate of MSK signal in the interference environment.

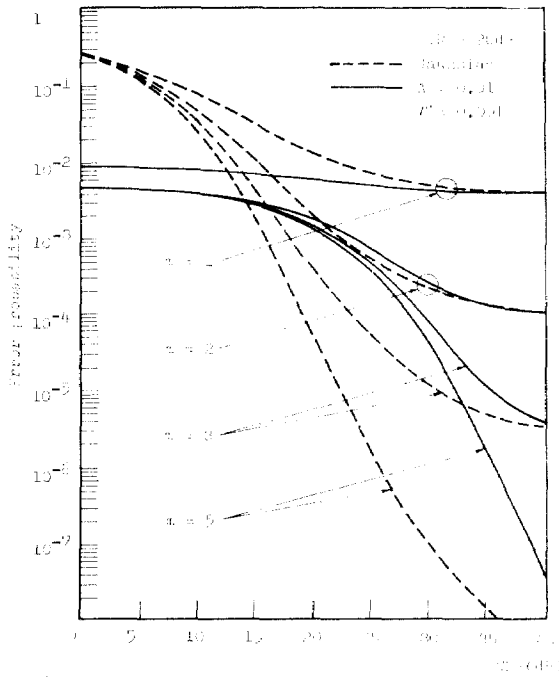


그림 16 간섭 환경하에서 페이딩을 받은 MSK 신호의 오류율 (CIR = 20dB)  
Bit error rate of MSK signal in the interference and fading environments (CIR = 20dB).

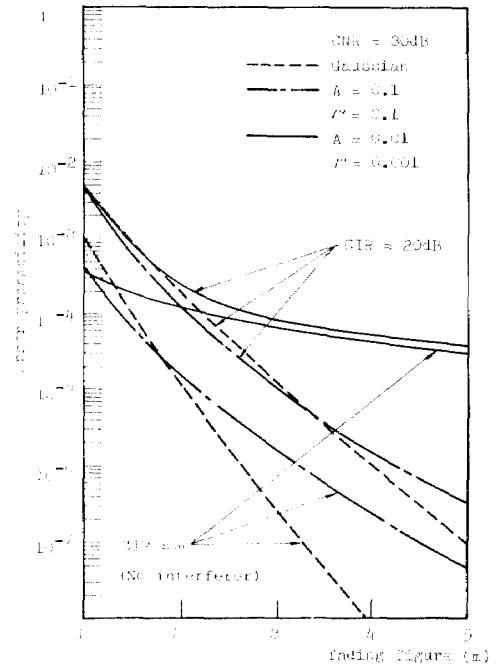


그림 18 페이딩 지수에 대한 MSK 신호의 오류율  
Bit error rate of MSK signal with the fading figure.

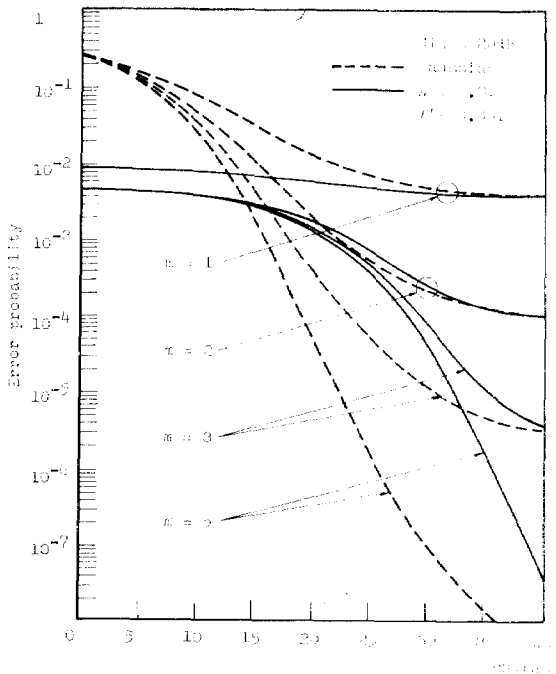


그림 17 간섭 환경하에서 페이딩에 따른 MSK 신호의 오류율 (페이딩이 없는 경우와 Rayleigh 페이딩의 비교)  
The comparison of bit error rates of MSK signal in the environment of no fading and Rayleigh fading.

량은 여전히 남게 되어 시스템에 장애요소가 될 수 있을 것이다.

그림 15는 잡음 이외의 간섭파의 영향도 고려했을 경우이다. CIR이 20dB일 때 페이딩이 없는 경우에는 그림 7과 비교할 때 오류특성의 변화는 거의 없다. 그러나 신호가 페이딩을 받을 경우에는 오류특성이 상당히 악화되고 있다. 그러므로 신호가 페이딩을 받게 되면 미약한 간섭파일지라도 수신 시스템에 미치는 영향이 매우 크게 되어 시스템 설계시 간섭에 대하여 충분히 고려하여야 한다. 그림 16, 17에는 CIR을 20dB로 고정시키고 페이딩 지수를 변화시켜 가면서 오류특성을 비교하였다.

그림 18은 CNR을 30dB로 고정시키고 간섭파의 크기와 페이딩 지수를 변수로 하여 오류특성을 나타내었다. 간섭파의 존재유무는 무관하게 가우시안 잡음일 경우가 페이딩 지수에 가장 민감하다. 것을 알 수 있었다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 이동 무선 통신에서 야기되는 페이딩과 간섭현상, 그리고 임펄스성 잡음의 복합적인 환경하에서 MSK 시스템의 성능을 오율적인 측면에서 검토하였다.

다중 전파로 페이딩과 간섭과 그리고 임펄스성 잡음의 통계적인 특성에 대하여 고찰하고 이들이 MSK 신호의 전송시에 미치는 영향을 오율에 관한 일반식으로 구한 후 컴퓨터 시뮬레이션하여 그 결과물 그래프로 나타내고 각 경우에 대하여 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

일반 통신계에서 가우스성 잡음의 영향은 CNR이 증가함에 따라 감소하지만 임펄스성 잡음의 경우에는 CNR을 증가하더라도 오율은 크게 개선되지 않는다. 반면에 신호파가 강한 페이딩 채널을 통과할 때는 CNR이 높은 경우에도 가우스성 잡음에 의한 영향이 임펄스성 잡음에 의한 영향보다 크게 되어 예러는 주로 가우스성 잡음에 의하여 발생됨을 알 수 있었다. 그러나 페이딩이 약한 경우에는 가우스성 잡음의 영향은 크게 줄어드는 반면 임펄스성 잡음의 영향은 그대로 남아 시스템에 큰 장애 요소가 되고 있다. 또한 페이딩 환경하에서 간섭파가 존재하는 경우에는 페이딩이 없는 경우와 달리 미약한 간섭파일지라도 시스템의 오율은 크게 저하시킬 우려가 있으므로 시스템 설계시 간섭에 대하여 충분히 고려해야 할 것이다.

### 감사의 말씀

본 연구논문은 체신부와 한국전기통신공사의 학술단체 육성지원금의 재정 지원으로 이루어졌습니다. 연구비를 지원하여 주신 체신부와 한국전기통신공사에 깊은 감사를 드리는 바입니다.

### 參 考 文 獻

(1) W. R. Young, "Advanced mobile phone service: Introduction, background, and objectives," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 58, no. 1, pp. 1-14, Jan. 1979.  
 (2) Richard H. Frenkiel, "A high-capacity mobile radio te-

lephone system model using a coordinated small-zone approach," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-19, no. 2, pp. 173-177, May 1970.  
 (3) K. Feher, *Digital modulation techniques in an interference environment*, vol. 9 of EMC Encyclopedia. Germantown, Maryland: Don White Consultants, 1977.  
 (4) W. C. Jakes, ed., *Microwave mobile communications*, New York: John Wiley, 1974.  
 (5) R. Maciejko, "Digital modulation in Rayleigh fading in the presence of cochannel interference and noise," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, no. 9, pp. 1379-1386, Sep. 1981.  
 (6) Richard C. French, "The effect of fading and shadowing on channel reuse in mobile radio," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-28, no. 3, pp. 171-181, Aug. 1979.  
 (7) Y. Miyagaki, N. Morinaga, and T. Namekawa, "Error probability characteristics for CPSK signal through m-distributed fading channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-26, no. 1, pp. 88-100, Jan. 1978.  
 (8) K. Feher, R. P. Tetarenko, P. Hartmann, and V. K. Prabhu, "Digital communication by radio," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, no. 12, Dec. 1979.  
 (9) S. Kabasawa, N. Morinaga, and T. Namegawa, "Effect of interference on MSK signal," *Paper of Technical Group on Communication Systems, IECE of Japan*, CS-79-47, pp. 33-40, June 1979.  
 (10) O. H. Shabigh, "On the effects of CW interference on MSK signal reception," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, no. 8, pp. 1925-1929, Aug. 1982.  
 (11) S. Pasupathy, "Minimum shift keying: A spectrally efficient modulation," *IEEE Communications Magazine*, vol. 17, pp. 14-22, July 1979.  
 (12) R. E. Ziemer, and C. R. Ryan, "Minimum shift keyed modem implementations for high data rates," *IEEE Communications Magazine*, vol. 21, pp. 28-37, Oct. 1983.  
 (13) M. Nakagami, "The m-distribution-A general formula of intensity distribution of rapid fading," in *Statistical Methods in Radio Waves Propagation*, W. C. Hoffman Ed. New York: Pergamon press, 1960.  
 (14) 조성준, 공병욱, "임펄스성 잡음," 무선 제 8호, pp. 24-27, 1983. 6, 제 9호, pp. 33-38, 1983. 9, 한국무선통신사협회.  
 (15) D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," *IEEE Trans. on Electromag. Compat.*, vol. EMC-19, no. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.  
 (16) 손승환, 조성준, "디지털 이동 무선통신화선상에서의 MSK 시스템의 특성," 한국통신학회 1984년도 추계학술발표회 논문집, pp. 37-42, 1984. 11.  
 (17) 조성준, 공병욱, "전자간섭 환경하에서 임펄스성 랜덤 잡음이 디지털변조방식에 미치는 영향," 한국통신학회지, 제 10권 1호, pp. 17-30, 1985. 2.  
 (18) 조성준, 손승환, 공병욱, "이동체통신에 미치는 제반 간섭 잡음의 해석," '84전기통신학술연구보고서(체신부, 한국전기통신공사), 1985. 1.



**孫承完 (Seung Wan SON)** 正會員  
 1960年 10月 10日生  
 1979年 3月 ~ 1983年 2月 : 韓國航空大學  
 通信工學科卒業 (工學士)  
 1983年 3月 ~ 1985年 2月 : 韓國航空大學  
 大學院電子工學科卒業 (工學碩士)

1985年 2月 ~ 現在 : 三星半導體通信(株) 研究員



**趙成俊 (Sung Joon CHO)** 正會員  
 1946年 1月 9日生  
 1965年 4月 ~ 1969年 2月 : 韓國航空大學  
 通信工學科卒業 (工學士)  
 1973年 4月 ~ 1975年 2月 : 漢陽大學校大學  
 學院卒業 (工學碩士)  
 1977年 4月 ~ 1981年 3月 : 大阪大學大學  
 院通信工學科卒業 (工學博士)

1969年 4月 ~ 1972年 7月 : 海軍技術將校

1972年 8月 ~ 現在 : 韓國航空大學通信工學科(副教授)

本學會常任理事, 學會誌編輯委員長(兼) 役  
 兼, 現在理事, 本學會功勞賞(1983.4)  
 功勞學術賞(1984. 2) 受賞.



**孔炳玉 (Byung Ock KONG)** 正會員  
 1958年 11月 27日生  
 1977年 3月 ~ 1981年 2月 : 韓國航空大學  
 電子工學科卒業 (工學士)  
 1981年 3月 ~ 1983年 2月 : 韓國航空大學  
 大學院電子工學科卒業 (工學碩士)

1984年 3月 ~ 現在 : 韓國航空大學通信工學科 勤務