

임펄스성 잡음 환경 하에서의 제반 디지털 변조 방식의
오율 특성

임훈식, 홍현성, 공병욱, 조성준
한국항공대학 통신정보공학과

The Comparative Error Performance of Digital Modulation
Techniques in Impulsive Noise Environment

Choon Sik Yim, Hyun Sung Hong, Byung Ock Kong, Sung Joon Cho

Dept. of Telecomm. and Information Eng., Hankuk Aviation College

ABSTRACT

The error rate performance of digital modulation system influenced by impulsive noise have been investigated and discussed in the environment of electromagnetic interference. Using the derived equations for the probability of error of L-level ASK, QAM, MSK, FSK, PSK, AFK and APK signals. The error rate performance of each systems has been evaluated and compared each other in terms of carrier-to-noise rate (CNR), impulsive index, and the intensity of the independent Gaussian noise component to the intensity of the impulsive component of the impulsive noise.

1. 서 론

최근의 통신 공학에 의한 잡음 관련 분야의 현상을 보면 통신수요 증대에 수반하여 유한 자원으로 있는 주파수 스펙트럼의 유효이용 관점으로 볼때 통신회선의 고밀도화를 병행하여 각종 고집적화 전자 전기기기의 보급 및 교통기관의 발달등에 의한 전자파 간섭 문제가 대두되고 있다. 특히 날로 증대하여지는 인공 전자파 간섭현상은 최근의 산업화, 도시화, 전기사용자 밀집화 등에 필연적으로 발생되어지는 것으로서 대부분 임펄스성을 띠며 디지털 통신 시스템에 큰 문제로 나타나고 있다. 본 논문에서는 각종 변조 시스템으로서 디지털 진폭 변조(ASK) 직교 진폭 변조(QAM), 최소편이 주파수 변조(MSK), 주파수 편이 변조(FSK), 혼합 변조 방식인 진폭 주파수 변조(AFK), 디지털 위상변조(PSK) 및 혼합 변조 방식인 진폭 위상변조(APK) 방식을 택하였으며 잡음 모델로서는 임펄스성 잡음 및 가우스성 잡음을 종합적으로 다룰수 있는 잡음 모델을 도입하였다. 평가기준으로서는 오율을 탁해 반송파 전력대 잡음 전력비(CNR), 임펄스 지수

및 임펄스성 잡음 전력에 대한 가우스성 잡음 전력의 비를 파라미터로 하여 여러가지 잡음 환경하에서 각 디지털 변조방식의 성능 및 우열을 가능하다. 평가 방법 으로서는 각 디지털 변조신호가 임펄스성 잡음의 영향을 받은 최종 수신된 신호에 대한 일반 오율 식을 통계 수학적으로 유도한후 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 수치계산 하여 그 결과를 그래프로 나타내고 이에대해 각 시스템의 성능을 비교 검토한다.

2. 신호모델

2.1 ASK 신호

일반적인 L-Level ASK 신호형태는 다음식과 같다.

$$S_A(t) = S_j \cos \omega_c t \quad (1)$$

단 $S_j \in \{ +d, +3d, +5d, \dots, +(2L-1)d \}$

L : ASK 신호의 Level수

2d : 신호점간의 간격

2.2 QAM 신호

일반적인 QAM 신호형태는 다음식과 같다.

$$S_Q(t) = a_j \cos \omega_c t + b_k \sin \omega_c t \quad (2)$$

$NT < t < (N+1)T$

단 $a_j, b_k \in \{ +d, +3d, \dots, +(2L-1)d \}$

2.3 FSK 신호

FSK 신호를 수식으로 표시하면 다음과 같이 표시 할수 있다.

$$S_p(t) = S \cos(\omega_c + bkw)t \quad (3)$$

단 bk 는 부류형 부호 (-1, 1)로 가정

$$\text{즉 } \omega_c + bkw = \begin{cases} \omega_1, & bk = -1 \\ \omega_2, & bk = 1 \end{cases}$$

2.4 AFK 신호

AFK 신호는 ASK 와 FSK 와의 혼합 신호 모델로서 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$S_{AF}(t) = (S + \alpha S a_k) \cos((\omega_c + bkw)t + \theta) \quad (4)$$

단 a_k : 단류형 부호 (0, 1)
 bk : 부류형 부호 (-1, 1)

2.5 MSK 신호

MSK 변조방식의 신호파형은 다음과 같이 표시한다.

$$S_M(t) = S \cos(\omega_c t + U_k \frac{t}{T} + \phi_k) \quad (5)$$

$$T = k < t < k+1$$

$$U_k = -a_{m1} \cdot a_k$$

단 $a(t) = (a_0, a_1, a_2, \dots)$ 로서 2진 정보열
 는 연속위상을 얻기 위한 위상상수

2.6 PSK 신호

PSK 의 일반적인 신호를 표시하면 다음과 같다.

$$S_p(t) = S \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (6)$$

단 S 는 신호의 진폭

$$\lambda (= 0, 1, \dots, M-1)$$

M : Level 수 (상의 수)

2.7 APK

이 신호는 상호 독립적인 PSK신호와 ASK신호의 합으로서 나타낼 수 있다.

$$S_{AP}(t) = S_j \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (7)$$

단 $S_j \in \{+d, +3d, \dots, +(2L-1)d\}$

L : ASK 신호의 level 수

M : PSK 신호의 상의 수

3. 임펄스성 잡음 모델

디지털 전송계에서는 가우스성 잡음과 더불어 임펄스성 잡음이 동시에 존재한다. 본 해석에서는 인공잡음과 자연 잡음의 모델로서 이에 따라 임펄스 잡음의 특성과 디지털 통신에 미치는 영향에 대한 것을 고찰하였다. 임펄스성 잡음의 해석 방법에는 여러가지가 있으나 본 논문에서는 가우스성 잡음을 포함하는 임펄스성 잡음인 모델로서 Middleton 이 전개한 임펄스성 잡음에 관한 통계적 모델을 도입하여 고찰한다. 잡음 $n(t)$ 를 가우스성 잡음과 임펄스 잡음의 합성으로서 수신기내의 가우스 잡음에 외부의 임펄스 합으로서 표시한다.

이 잡음은 푸선수신기를 대상으로 한 협대역 잡음으로서 이때의 잡음 포락선

$$n(t) = N(t) \cos(2\pi f_c t + \phi(t)) \quad (8)$$

단 f 는 대역 내의 중심 주파수

$N(t)$ 와 $\phi(t)$ 로 표시된 잡음함수 x 축과 y 축으로 분해하여 cosine 편편만에 영향을 주는 성분으로 구별하기 위하여 Jacobian 을 이용하여 U 의 확률 밀도 함수를 구하면

$$U = N \cos \phi$$

$$V = N \sin \phi$$

구좌표로 표시된 N, ϕ 에 대하여 직교 좌표로 변환하면

$$P(U, V) = \frac{e^{-A}}{2\pi W} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{A^l}{l! \sigma_l} \exp\{-x^2 - y^2\} / \sigma_l^2 \quad (9)$$

random variable x, y 는 서로 독립적이고

$$-\infty < x < \infty, -\infty < y < \infty$$

그러므로

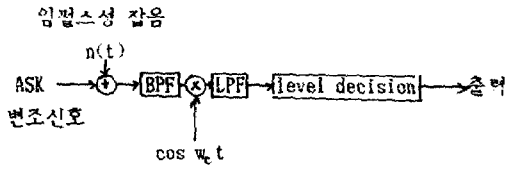
$$P(U) = \int_{-\infty}^{\infty} P(U, V) dV \\ = e^{-A} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi W} \cdot \sigma_l} \exp\{-U^2 / 2\sigma_l^2\} \quad (10)$$

4. 수신합성파의 통계적 해석

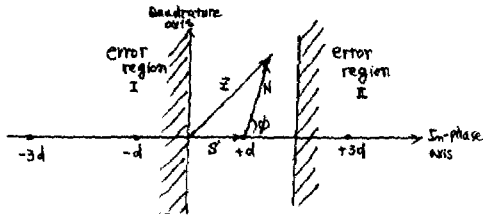
4.1 ASK 신호의 통계적 해석

L -level ASK 신호는 식 (1) 과 같이 표현되며 오류 특성을 구하기 위해 그림(1) 과 같이 해석 모델을 설정하였으며, 수신단의 입력은 신호에 임펄스성 잡음이 부가된 형태로 나타나므로 수신 L -level ASK 신호의 합성 패이저도는 그림 (2) 과 같다.

수신 ASK 신호의 합성 패이저가 여러 영역에 들어갈 확률이 곧 오류이 되므로 오류를 구하는 식은 다음과 같다.



(그림 1) ASK 수신기의 해석모델



(그림 2) 신호의 합성 페이지도

$$z(t) = S_A(t) + n(t) = S_j \cos \omega_c t + N \cos(\omega_c t + \phi) \quad (11)$$

$z = N \cos \phi$ 라 놓으면

$|z| > d$ 이면 에러가 되므로 구하는 확률 P_e 는

$$P_e = \frac{2d-N}{2N} \text{Prob}(|z| > d) = \frac{2d-N}{2N} [\text{Prob}(N \cos \phi < -d) + \text{Prob}(N \cos \phi > d)] \quad (12)$$

$P(u)$ 를 도입하여 구하면 L-Level 신호에 대해 평균을 취한 오율은

$$P_e = \frac{2d-N}{2N} \cdot e^{-\frac{N^2}{2d^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \text{erfc} \left[\frac{d}{\sqrt{2d^2 - N^2}} \right] \quad (13)$$

여기에 L-Level ASK 신호에서는 신호점이 $+d, +3d$ 로서 4개이므로 평균신호전압은

$$S' = \frac{1}{2} S \quad (15)$$

그러므로 L-level ASK 의 최종 오율은

$$P_e = \frac{3}{4} e^{-\frac{N^2}{2d^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{2}d}{\sqrt{2d^2 - N^2}} \right] \quad (16)$$

단 $\alpha(\text{CNR}) : (\frac{S'}{N})^2 / W = S^2 / 4W$

4.2 QAM 신호의 통계적 해석

식(2)로 표현되는 일반 2L 비트의 QAM 신호에 대한 해석을 위해 그림 (3)과 같이 수신기의 해석 모델을 설정하였다. 구하고자하는 16-QAM 은 L=2인 경우이며 이에 대한 신호 배열과 수신신호의 합성 페이지도는 그림 (4)과 같다. Cosine 축과 Sine 축에 대해 각각은 ASK 변조하여 합성시킨 QAM 신호는 Cosine 항과 Sine 항이 서로 직교하면서 독립적이므로 하나의 채널에 대해서만 해석하면 cosine 축이나 Sine 축에 대한 오율은 동일한 결과를 가져온다.

즉 $N_1 = N_2$ 이 되며 16-QAM의 전체의 오율은 다음과 같다.

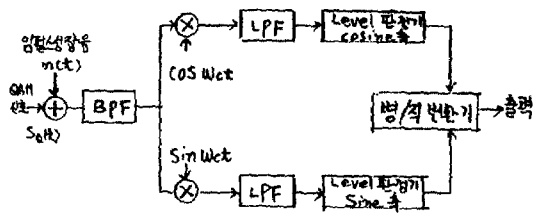
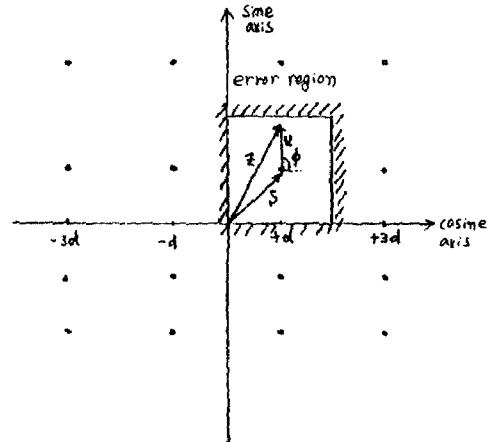


그림 (3) QAM 수신기의 해석 모델



(그림 4) QAM 수신신호의 합성페이지도

그러므로 구하고자하는 16-QAM 의 전체 오율은

$$P_e = P_e(\cos) + P_e(\sin) = P_e(\cos) \cdot P_e(\sin) \quad (17)$$

여기서 16-QAM 에 있어서 신호점이 16개 이므로 평균 신호 전압 S' 는

$$S' = \frac{1}{16} S \quad (18)$$

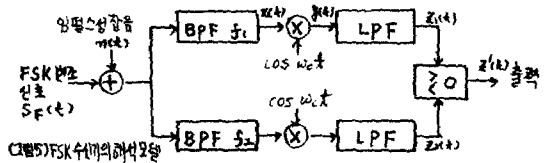
합성 Level L=2 이므로 최종 구하고자하는 오율은

$$P_e = \frac{3}{4} e^{-\frac{N^2}{2d^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{2}d}{\sqrt{2d^2 - N^2}} \right] \quad (19)$$

단 $\alpha(\text{CNR}) : (\frac{S'}{N})^2 / W = S^2 / 4W$

4.3 FSK 신호의 통계적 해석

FSK 신호에 대한 오율 특성을 구하기 위해 그림 (5)과 같이 해석모델을 설정하였다. 여기에서 수신단의 입력은 신호에 임펄스성 잡음이 부가된 형태로 나타내므로 오율을 구하는 식은 다음과 같다.



그림(5) FSK 수신기 해석모델

임펄스잡음이 가해진 신호가 대역폭과 여파기를 거친후 신호 $x(t)$ 는

$$x(t) = S \cos \omega_c t + N \cos(\omega_c t + \phi) \quad (20)$$

송신기 출력신호 $y(t)$ 는

$$y(t) = \frac{S}{2} + \frac{S}{2} \cos 4\pi f_1 t + \frac{N}{2} \cos \phi + \frac{N}{2} \cos \phi \cos 4\pi f_1 t \dots \quad (21)$$

저역통과 여파기를 거쳐 고주파 성분이 제거된 출력신호 $z_1(t)$ 는

$$z_1(t) = \frac{S}{2} + \frac{N}{2} \cos \phi \quad (22)$$

마찬가지로 FSK 신호 f_1 이 f_2 의 채널상의 신호는 제거되고 임펄스성 잡음 성분만 남게되므로 f_2 채널상의 출력신호 $z_2(t)$ 는

$$z_2(t) = \frac{N}{2} \cos \phi \quad (23)$$

구한식에 의하여 최종판별 과정을 거친 출력신호 $z'(t)$ 는

$$z'(t) = z_1(t) + z_2(t) = \frac{S}{2} + N \cos \phi \quad (24)$$

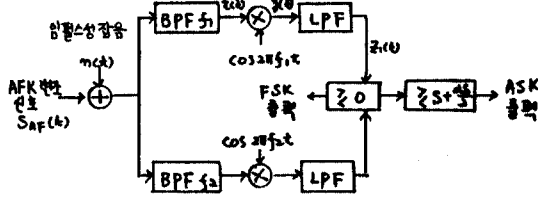
그러므로 구하고자 하는 오율 P_e 는

$$P_e = \text{Prob} \left(\frac{S}{2} + N \cos \phi < 0 \right) \quad (25)$$

$$= \frac{1}{2} e^{-\frac{a}{2b}} \frac{N}{S} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{2a}}{\sqrt{2} S} \right]$$

4.4. AFK 신호의 통계적 해석

AFK 신호는 식 (4)과 같이 표현되며 오율 특성을 구하기 위해 그림 (6)과 같이 해석 모델을 설정하였으며 AFK 신호마형을 그림 (7)에 나타내었다.

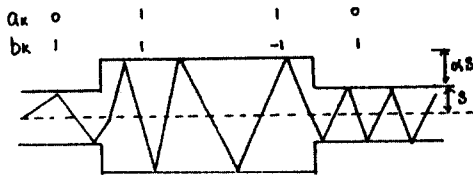


(그림 6) AFK 수신기의 해석모델

입력신호 $S_{AF}(t)$ 는

$$S_{AF}(t) = (S + a S a_k) \cos [(a_k + b k \omega) t + \theta] \quad (26)$$

θ 를 0 으로 가정하여 a_k 는 단위형 부호 (0, 1), $b k$ 는 부류형부호 (-1, 1) 로 가정하여 해석한다.



(그림 7) AFK 신호마형

해석모델에서 BPF 의 출력 $x(t)$ 는

$$z(t) = (S + a S a_k) \cos 2\pi f_1 t + N \cos (2\pi f_1 t + \phi) \quad (27)$$

송신기 출력신호 $y(t)$ 는

$$y(t) = \frac{S + a S a_k}{2} + \frac{S + a S a_k}{2} \cos 4\pi f_1 t + N \cos (2\pi f_1 t + \phi) - \cos 2\pi f_1 t \quad (28)$$

저역 통과 여파기를 거쳐 고주파를 제거된 출력신호 $z_1(t)$ 는

$$z_1(t) = \frac{S + a S a_k}{2} + \frac{N}{2} \cos \phi \quad (29)$$

1) FSK 의 오율

입력신호 $S_{AF}(t)$ 신호중 FSK 신호만 추출하는 단계에서 FSK 신호 f_1 이 f_2 의 채널을 통과될때 f_1 에 대응되는 신호는 제거되고 임펄스 잡음 성분만 남게 되므로 채널의 출력신호 $z_2(t)$ 는

$$z_2(t) = \frac{N}{2} \cos \phi \quad (30)$$

FSK 신호를 판별하기 위한 최종 출력신호 $z'(t)$ 는

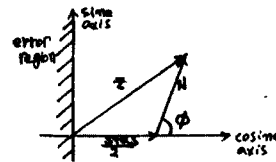
$$z'(t) = z_1(t) + z_2(t) = \frac{S + a S a_k}{2} + N \cos \phi \quad (31)$$

i) $a = 1$ 일때

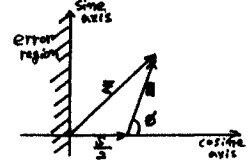
$$N \cos \phi + \frac{S + a S a_k}{2} < 0$$

ii) $a = 0$ 일때

$$N \cos \phi + \frac{S}{2} < 0$$



(그림 8) 수신 FSK 신호의 합성 페이저도(a=1)



수신 FSK 신호의 합성페이저도(a=0)

그러므로 $a_k=1$ 일때의 오율은

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{a}{2b}} \frac{N}{S} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{2a}}{\sqrt{2} S} \right] \quad (34)$$

단 $\alpha \ll NR = S^2/2W$

마찬가지로 $a_k=0$ 일때의 오율은

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{a}{2b}} \frac{N}{S} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{2a}}{\sqrt{2} S} \right] \quad (35)$$

그러므로 a_k 의 0과 1의 발생확율이 등확률이라 가정 하였으므로 전체 FSK 의 오율은 다음과 같다.

$$P_{e,FSK} = (P_{e,a_k=1} + P_{e,a_k=0}) / 2 \quad (36)$$

2) ASK 의 오류

복조 블록도의 LPF 출력 신호가 ASK 의 판정 레벨 (\$S+\frac{\sigma_s}{2}\$)과 다음 관계를 가질때 ASK신호의 에러가 발생한다.

i) \$a_k = 1\$ 일때

$$N \cos \phi + \frac{\sigma_s \sigma_s}{2} < \frac{S + \frac{\sigma_s}{2}}$$

ii) \$a_k = 0\$ 일때

$$N \cos \phi + \frac{\sigma}{2} > \frac{S + \frac{\sigma_s}{2}}$$

\$a_k=1\$ 일때의 오류는 다음과 같다.

$$P_{e|a_k=1} = \frac{\sigma_s}{S} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \operatorname{erfc} \left[\frac{\sqrt{S}}{\sigma_s} \right] \quad (37)$$

3) 혼합 디지털 진폭- 주파수 변조 방식오류 (AFK)

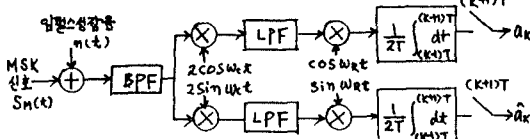
복조 블록도에 보인바와 같이 FSK 에서 에러가 발생할 확률과 FSK신호가 올바르게 판정됨에도 불구하고 ASK신호의 에러가 발생할 확률의 합으로서 나타낼수있다.

$$P_e = P_{e|ASK} + (1 - P_{e|FSK}) \cdot P_{e|ASK} = P_{e|ASK} + P_{e|FSK} - P_{e|ASK} P_{e|FSK} \quad (38)$$

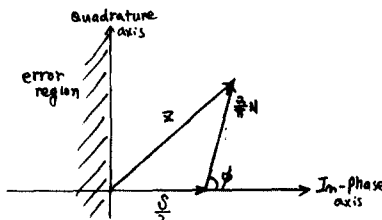
4.5. MSK 신호의 통계적 해석

MSK 신호는 FSK 신호의 특수한 예로서 식 (5)과 같이 표현되며 오류특성을 구하기 위하여 그림 (9)과 같이 해석 모델을 설정하였다.

해석 모델에서 최종 검출된 수신 합성파는 그림 (10)과 같이 합성 페이저로도 나타낼수 있다



(그림 9) MSK 수신기의 해석 모델



(그림 10) 수신 MSK 신호의 합성 페이저도

즉 임펄스성 train noise \$n(t)\$ 라고 하였을때

$$n_i(t) = \sum_{m=1}^{\infty} N_m \delta(t - t_m) \quad (39)$$

여기에서 합성된 신호를 표시하면

$$\begin{aligned} z(t) &= S(t) + n(t) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} a_k p(t-kT) \cos \omega_c t \cos \omega_c t \\ &\quad + \sum_{k=0}^{\infty} a_k p(t-kT) \sin \omega_c t \sin \omega_c t \\ &\quad + N \cos(\omega_c t + \phi) \end{aligned}$$

cosine 채널에서 승적기를 거친후 저역 통과 여파기를 통과한후 최종 출력신호는 다음과 같이 된다.

$$(40)$$

상기식을 이용하여 수신 합성파의 페이저도는 그림(10)에서와 같이 수신 합성파의 페이저 \$Z\$가 에러 영역에 들게 될 확률이 곧 오류이 되므로 오류는 다음과 같다.

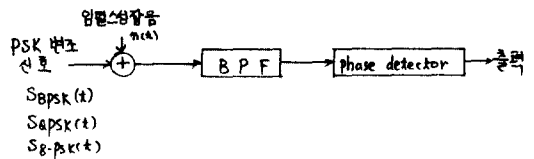
$$\begin{aligned} P_e &= \text{Prob} \{ \cos \phi < -\frac{S}{N} \} \\ &= \text{Prob} \{ N \cos \phi < -S \} \end{aligned} \quad (41)$$

그러므로 구하고자 하는 최종 오류식 \$P_e\$는

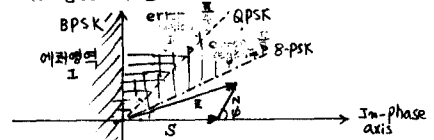
$$\begin{aligned} P_e &= \int_{-\pi}^{\pi} P_e(\phi) d\phi \\ &= \frac{\sigma_s}{S} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \operatorname{erfc} \left[\frac{\sqrt{S}}{\sigma_s} \right] \end{aligned} \quad (42)$$

4.6 PSK 신호의 통계적 해석

PSK 신호는 식(6)과 같이 표현되며 본 논문에서는 일반적으로 해석하기 위한 BPSK를 모델로 하여 해석하고자 한다. 오류특성을 구하기 위해 그림(11)와 같이 해석모델을 설정하였다. 채널상에서 임펄스성 잡음의 영향을 받은 수신신호에 대한 페이저도는 그림 (12)과 같이 표시되며 수신합성파의 페이저 \$Z\$가 에러 영역에 들게 될 확률이 곧 오류이 되므로 오류 \$P_e\$는 다음과 같다.



(그림11) 수신 PSK 신호의 해석 모델



(그림12) PSK 신호의 합성페이저도

$$P_e = \int_S^{\infty} \int_{-\pi+\phi}^{\pi+\phi} P(N, \phi) d\phi dN \quad (43)$$

여기에서 \$P(N, \phi)\$는 \$N, \phi\$와 결합 확률 밀도 함수로서 서로 독립된 random 변수이므로 다음식으로 표시할수있다.

$$\begin{aligned} P_e &= \int_S^{\infty} P(N) \left[\int_{-\pi+\phi}^{\pi+\phi} P(\phi) d\phi \right] dN \\ &= \frac{\sigma_s}{S} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \operatorname{erfc} \left[\frac{\sqrt{S}}{\sigma_s} \right] \end{aligned} \quad (44)$$

그러므로 QPSK, 8-PSK 신호에 대한 오율은 일반적인 BPSK 신호의 오율에 대한 각각 3, 8dB를 우측 이동시키면 된다.

4.7 APK 신호의 통계적 해석

APK 신호는 식(7)으로 표시되며 본 논문에서는 APK 신호의 여러가지 배열중 동심원 APK 신호만을 다루었다. 동심원 APK 신호는 ASK 신호와 PSK 신호의 합성신호로서 해석할수 있으며 ASK 신호와 PSK 신호가 서로 독립 발생원으로 부터의 신호라고 가정하여 전체 오율을 구한다. 동심원 (4,4) APK신호와 동심원 (8,8) APK신호의 오율은 각각 다음식과 같이 표시된다.

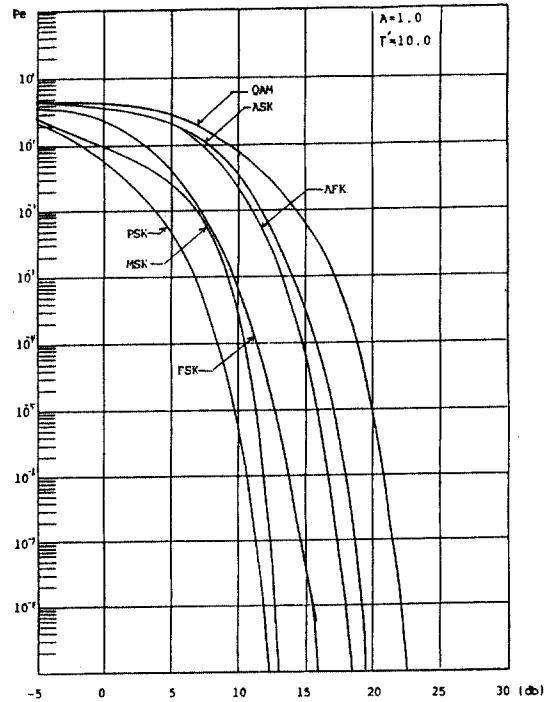
$$Pe((4,4)APK) = Pe(2\text{-level ASK}) + Pe(QPSK) - Pe(2\text{-level ASK}) \cdot Pe(QPSK) \quad (47)$$

$$Pe((8,8)APK) = Pe(2\text{-level ASK}) + Pe(8\text{-PSK}) - Pe(2\text{-level ASK}) \cdot Pe(8\text{-PSK}) \quad (49)$$

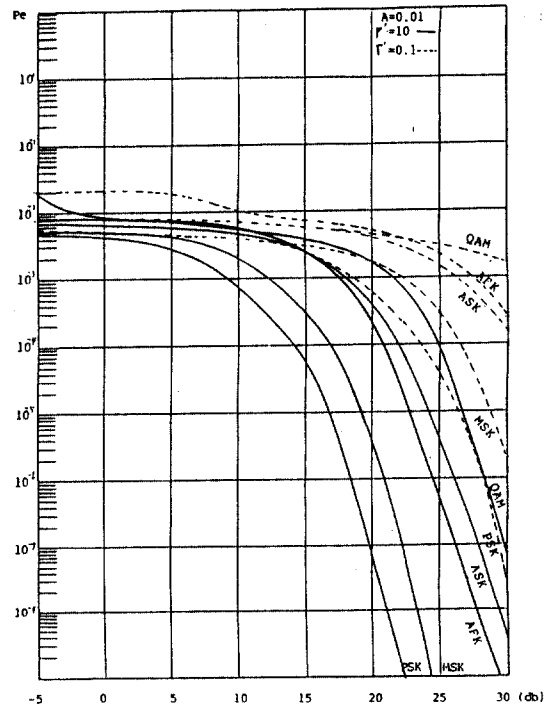
5. 결론

L-level ASK 신호, 16-QAM 신호, FSK 신호, 혼합 변조인 AFK신호, MSK신호, PSK 및 동심원 APK 신호에 대한 일반 오율식을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션으로서 각 변수의 변화에 따라 오율을 계산하였으며 그 결과 그림(15)-그림 (18) 에 오율 그래프로 나타냈다. 이상의 오율 그래프로부터 다음과같은 결론을 내릴수있다. 전반적으로 임펄스성 변수 변화에 대하여서는 PSK 시스템이 가장 양호한 성능을 보이고 있다.

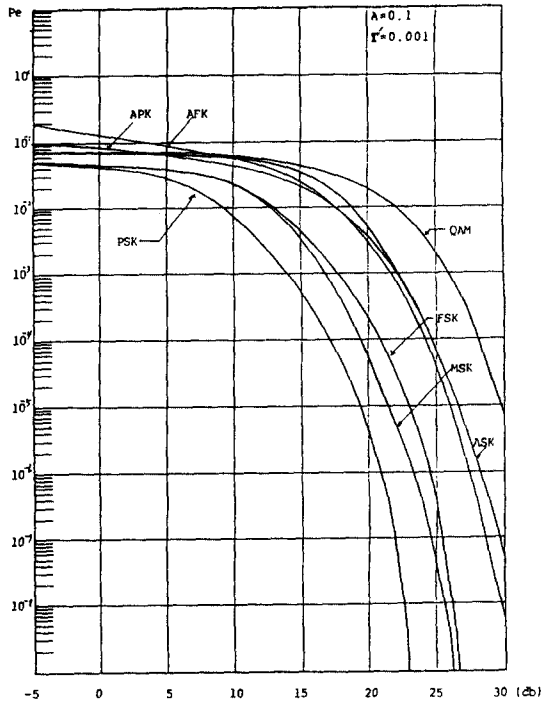
임펄스가 많은 잡음 환경 하에서는 MSK 시스템이 다른 시스템 보다 양호한 성능을 보이고 있다. 또한 임펄스성 잡음 환경 하에서 디지털 진폭 변조 시스템은 임펄스성 Level 변동 변화폭에 비해 크게 좌우되지 않는 특성을 보여주고 있다.



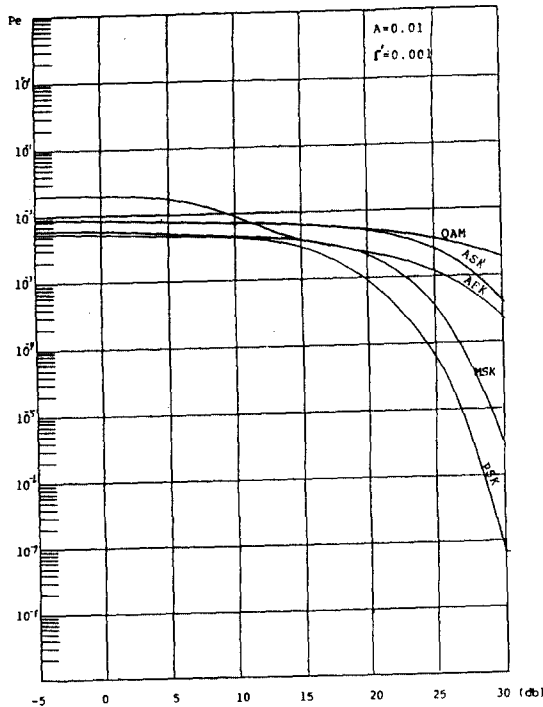
(그림 15) 가우시안 잡음 환경하에서 각 디지털 변조 신호의 오율



(그림 16) Γ변화에 따른 각 디지털 변조 신호의 오율



(그림 17) 임펄스성 잡음 환경하에서의
각 디지털 변조 신호의 오율



(그림 18) 강한 임펄스성 잡음 환경하에서의
각 디지털 변조 신호의 오율

Reference

- (1) D Middleton, Man-made noise in urban environments and Transportation Systems : Models and measurements" IEEE Trans vehicular Tech, VOL. VT-22, No.4 PP 148-156, NOV. 1973
- (2) J.D.Oetting, "A comparison of Modulation Techniques for Digital Radio" IEEE Trans. Com, VOL. COM-27, No.12 PP 1752-1758, Dec. 1979
- (3) K.Feher, "Digital communication by Radio", IEEE Trans. COM, VOL. COM-27 No.12, PP1749-1751, Dec. 1979
- (4) K. Feher, "digital Modulation Techniques in and interference Environment", Gaineville, VA: Don white consultants, 1977
- (5) A. D Spaulding and D. Middleton, "Optimum Reception in and impulsive Interference Environment-Part I, II Coherent Detection", IEEE Trans. Com, VOL, COM -25 No.9 PP910-934, sep. 1977
- (6) Hiroshi KUSAO, 'Optimum Coherent Receiver for Impulsive RF Noise ', 전자통신학회지 '85.6 VOL J68-B N0.6 PP 684-691
- (7) Norihiko MORINAGA, "Optimum Receivers (I) (II) (III)" 전자통신학회지 '84.5 VOL.67 (PP 669-673), No.5 (PP 558-563), No.6, No.7
- (8) B.O.Kong and S.J.Cho, "PSK Error performance with Impulsive Noise and Cochannel Interference" KIEE Journal, Vol. 20, No.1 PP65-62 Jan, 1983