

육상 이동 FM 통신 방식에서의 다중로 및 Tone 간섭의 영향

한 덕 수*, 공 병 옥**, 조 성 준*

* 한국항공대학 통신정보공학과 ** 대유공업전문대학 전자통신과

Multipath / Tone interference effect in Land mobile FM communication system

Deog Su HAN* Byung Ock KONG** Sung Joon CHO*

* Dept. of Telecom. and Information Eng., Hankuk Aviation College
** Dept. of Electronic Communication, Daeyoo Tech. Junior College

ABSTRACT : We have analyzed the performance of land mobile Analog and Digital FM systems which are affected by multipath and cochannel tone interference. Through the numerical calculation, the results are shown in graphs as functions of modulation index beta, interference to signal amplitude ratio rho, modulating frequency p, time delay t_0, fading index m, CNR and CIR. And then we have compared with each other and discussed.

1. 서 론

사회의 발달과 더불어 빠르고 신속한 정보의 유통이 요구되고 있다. 이러한 사회적인 요구에 따라 어떠한 장소에서도 통신을 행할 수 있는 이동 통신의 사용과 중요성이 점차로 증대되어 가고 있다. 그렇지만, 무선국의 육상이동시 발생하는 다중로 간섭과 Cellura 방식의 채용으로 인한 동일 채널 간섭으로 인해 시스템의 성능이 열화될 수 있다.

본 연구에서는 육상 이동 통신 방식으로 대중화되어 있는 아날로그 FM 방식과 앞으로 이 방식에 대체될 것이 예상되는 디지털 FM 방식에 대한 다중로 간섭과 동일채널 Tone 간섭의 영향을 해석하고자 한다. 디지털 FM 방식으로는 FSK 방식과 MSK 방식을 선택하였으며, 다중로 간섭 모델로서는 시간차를 가지며 서로 다른 전파경로를 통해 수신되는 두개의 동일신호를 사용하였다.

2. 신호

2-1. 아날로그 FM 신호

단일 경전파로서 주파수 변조된 아날로그 FM 신호는 다음과 같이 나타내진다.

S_FM(t) = S cos[omega_c t + beta sin pt] (1)

- 단, S : 신호의 진폭
omega_c : 반송파의 각주파수
beta = delta omega / p : 변조 지수
p : 변조 주파수
delta omega : 최대 주파수 편이

2-2. 디지털 FM 신호

(1) FSK 신호

FSK 신호의 표현식은 다음과 같이 나타내진다.

$$s_F(t) = S \cos[(\omega_c + b_k \omega) t] \quad (2)$$

단, S : 신호의 진폭

ω_c : 반송파의 각주파수

$$b_k \begin{cases} 1 : \text{정보신호가 0 (Space) 일때} \\ +1 : \text{정보신호가 1 (Mark) 일때} \end{cases}$$

2. MSK 신호

MSK 신호의 표현식은 다음과 같다.

$$s_M(t) = S(a_I(t) \cos \omega_R t \cos \omega_c t + a_Q(t) \sin \omega_R t \sin \omega_c t), 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

단, S : 신호의 진폭

ω_c : 반송파의 각주파수

$a_I(t), a_Q(t)$: 동상채널(Inch)과 역상채널

(Q-ch)에서의 정보원 신호

$$= \begin{cases} 1 : \text{정보원 신호가 0 (Space) 일때} \\ -1 : \text{정보원 신호가 1 (Mark) 일때} \end{cases}$$

3. 잡음

수신기의 대역통과필터(BPF)를 통과한 평균값이 0인 협대역 가우스잡음은 다음과 같이 표현된다.

$$n(t) = n_c(t) \cos \omega_c t - n_s(t) \sin \omega_c t \quad (4)$$

여기서, $n_c(t)$ 와 $n_s(t)$ 의 확률밀도함수는 형태가 서로 같으며, 이들의 확률밀도함수는 각각 다음과 같다.

$$p(n_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{n_c^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (5)$$

$$p(n_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{n_s^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (6)$$

단, σ_n^2 : 잡음의 평균전력

4. 간섭

4.1. 다중로 간섭

(1) 아날로그 FM 방식

아날로그 FM 방식에서의 간섭신호 $i_{FM}(t)$ 는 다중전파로써 의해 원래의 신호 $s_{FM}(t)$ 보다 t_0 만큼 지연된 신호로 가정한다. [1][2]

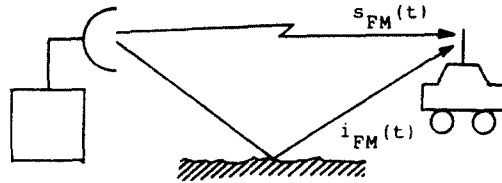


그림 1. 이동체 무선 통신 방식에서의 다중로 간섭
Multipath interference in mobile radio communication system.

$$i_{FM}(t) = S_D \cos[\omega_c(t-t_0) + \beta \sin \omega_c(t-t_0)] \quad (7)$$

(2) 디지털 FM 방식

디지털 FM 방식에서의 다중로 간섭은 특성상 페이딩과 유사하므로 다중로 간섭의 영향을 받는 신호의 진폭은 m-분포를 한다고 가정한다. 따라서, 신호 진폭 S의 확률밀도함수는 다음과 같다.

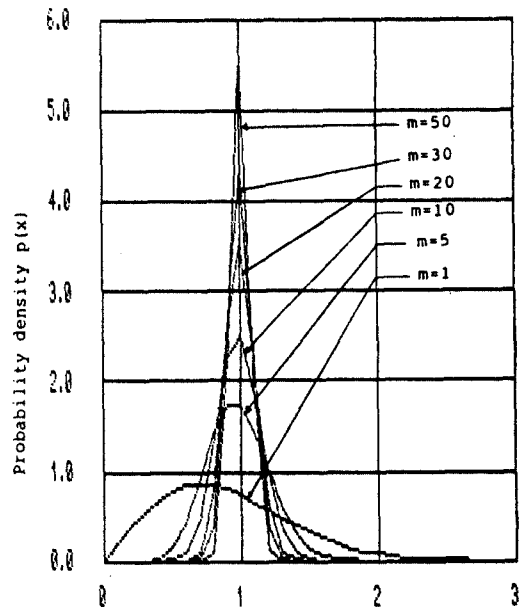
$$p(S) = \frac{2m^m S^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mS^2}{\Omega}\right) \quad (8)$$

단, $\Gamma(\cdot)$: 감마함수

$\Omega/2$: 평균 반송파 전력

$\Omega = \overline{S^2}$: 페이딩을 받은 신호의 평균전력

m : 페이딩 지수



The Envelope of Signal X(=S/√Ω)

그림 2. m-분포 곡선
m-distribution curve.

4-2. Tone 간섭

동일채널 Tone 간섭파는 다음과 같이 표현된다.

$$i(t) = I \cos(\omega_c t + \phi) \quad (9)$$

단, I : 간섭파의 최대진폭

ϕ : 간섭파의 위상

간섭파의 위상 ϕ 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(\phi) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \phi < 2\pi \quad (10)$$

5. 다중로 간섭의 영향

5-1. 아날로그 FM 방식

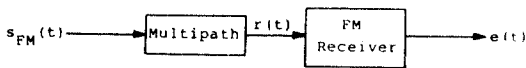


그림 3. 아날로그 FM 신호의 해석모델
Analysis model of Analog FM signal.

다중로 간섭의 영향을 받은 아날로그 FM 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r(t) &= S_C \cos[\omega_c t + \beta \sin pt] + S_D \cos[\omega_c(t-t_0) \\ &\quad + \beta \sin p(t-t_0)] \\ &= S \{ \cos \Psi_1(t) + \rho \cos \Psi_2(t) \} \\ &= A(t) \cos \Psi(t) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{단, } A(t) = S \sqrt{1 + \rho^2 + 2\rho \cos \Psi(t)}$$

$$\Psi(t) = \Psi_1(t) + \tan^{-1} \frac{\rho \sin \Psi(t)}{1 + \rho \cos \Psi(t)}$$

$$\Psi(t) = \Psi_2(t) - \Psi_1(t)$$

$$\rho = \frac{S_D}{S_C} : \text{간섭신호 대 희망신호의 진폭비}$$

합성신호 $r(t)$ 가 이상적인 Limiter 와 Discriminator를 통과한 후의 출력신호는 $\frac{d\Psi(t)}{dt}$ 에 비례한다.

$$\frac{d\Psi(t)}{dt} = \omega_c + \Delta\omega \cos pt + \frac{d}{dt} \left(\tan^{-1} \frac{\rho \sin \Psi(t)}{1 + \rho \cos \Psi(t)} \right) \quad (12)$$

윗식에서 반송파 주파수 성분 ω_c 와 $\frac{d}{dt}(\cdot)$ 를 전개하여 고조파 성분을 제거하면 최종출력 신호 $e(t)$ 는 다음과 같이 된다.

$$e(t) = \Delta\omega \cos pt + \rho C_n \sin B \quad (13)$$

$$\text{단, } C_n = -2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-\rho)^n}{n} J_1(nz) \cos(n\theta_0)$$

$$B = p(t - \frac{t_0}{2})$$

$$\theta_0 = -\omega_c t_0$$

$$z = 2\beta \sin \frac{pt_0}{2}$$

식(13)에 의해 수치 계산한 결과를 그림 4에 나타내었다.

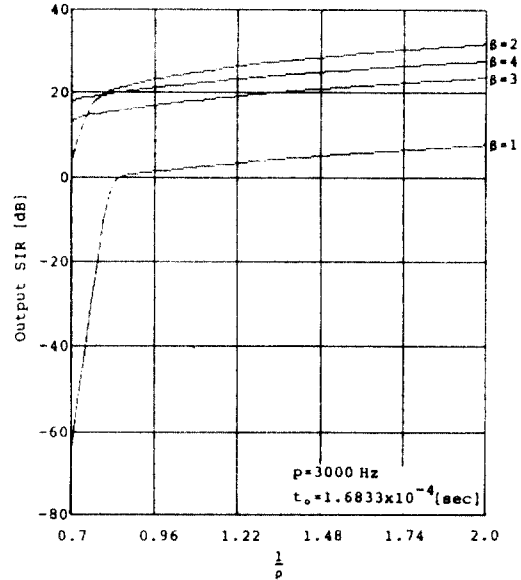


그림 4. 다중로 간섭의 영향을 받은 아날로그 FM 신호의 성능곡선
Performance curve of Analog FM signal affected by multipath interference

5-2. 디지털 FM 방식

(1) FSK 방식

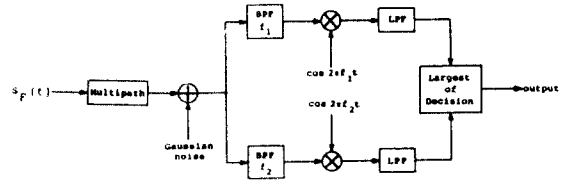


그림 5. FSK 수신기의 해석 모델
Analysis model of FSK receiver.

가우스 잡음만에 의한 FSK 방식의 오류는 여러 문헌에 잘 나타나 있는데 일반적으로 다음과 같다.^[3]

$$P_E = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{S^2}{4\sigma^2}} \right) \quad (14)$$

다중로 간섭의 영향을 받은 FSK 신호의 평균부호 오류식은 가우스 잡음만에 의한 오류식인 식(14)의 신호진폭 S 를 μ

- 분포식에 의해 평균을 하면 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{eF} = \int_0^{\infty} P_E \cdot p(S) dS$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\alpha_{GF}}{2\pi m}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\alpha_{GF}}{2m}\right)^{-(m+\frac{1}{2})}$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\alpha_{GF}}{2m+\alpha_{GF}}\right) \quad (15)$$

단, $\alpha_{GF} = \frac{P_{av}}{\sigma^2} = \frac{\Omega}{2\sigma^2}$: 다중로 간섭시 평균 반송파 전력 대 잡음 전력비

2. MSK 방식

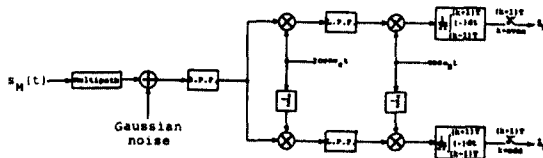


그림 6. MSK 수신기의 해석 모델
Analysis model of MSK receiver.

가우스 잡음만에 의한 MSK 방식의 오율은 여러 문헌에 잘 나타나 있는데 일반적으로 다음과 같다.^[3]

$$P_E = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\pi \sqrt{\frac{S^2}{32\sigma^2}}\right) \quad (16)$$

다중로 간섭의 영향을 받은 MSK 신호의 평균 부호 오율적인 가우스 잡음만에 의한 오율적인 식(16)의 신호진폭 S를 m - 분포식에 의해 평균을 하면 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{eF} = \int_0^{\infty} P_E \cdot p(S) dS$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\alpha_{GF}}{16m}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\pi^2 \alpha_{GF}}{16m}\right)^{-(m+\frac{1}{2})}$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\pi^2 \alpha_{GF}}{16m+\pi^2 \alpha_{GF}}\right) \quad (17)$$

단, $\alpha_{GF} = \frac{\Omega}{2\sigma^2}$: 다중로 간섭시 평균 반송파 전력 대 잡음 전력비

식(15)와 식(17)에 의해 수치 계산한 결과를 그림 7. 에 나타내었다.

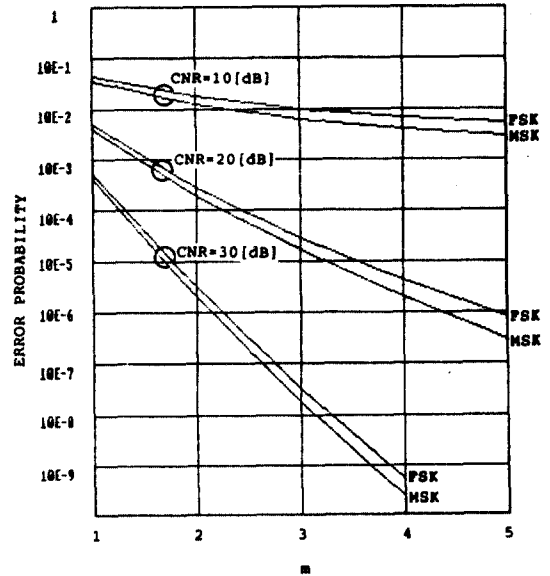


그림 7. 다중로 간섭의 영향을 받은 디지털 FM 신호의 오율 특성
Error performance of Digital FM signal affected by multipath interference.

6. Tone 간섭

6 - 1. 아날로그 FM 방식

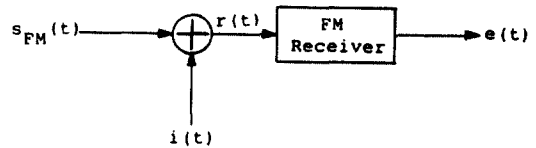


그림 8. 아날로그 FM 신호의 해석 모델
Analysis model of Analog FM signal.

동일 채널 Tone 간섭 신호의 영향을 받은 아날로그 FM 신호는 다음과 같이 나타내진다.

$$r(t) = S \cos[\omega_c t + \beta \sin \pi t] + I \cos[\omega_c t + \phi]$$

$$= S[\cos \psi_1(t) + \rho \cos \psi_2(t)]$$

$$= A(t) \cos \psi(t) \quad (18)$$

단, $A(t) = S \sqrt{1 + \rho^2 + 2\rho \cos \psi(t)}$
 $\psi(t) = \psi_1(t) + \tan^{-1} \frac{\rho \sin \psi(t)}{1 + \rho \cos \psi(t)}$
 $\psi(t) = \psi_2(t) - \psi_1(t)$
 $\rho = \frac{I}{S}$: 간섭신호 대 희망신호의 진폭비

합성신호 $r(t)$ 가 이상적인 Limiter 와 Discriminator를 통과하면 출력신호는 $\frac{d\psi(t)}{dt}$ 에 비례하게 되므로

$$\frac{d\psi(t)}{dt} = \omega_c + \Delta\omega \cos pt + \frac{d}{dt} \left\{ \tan^{-1} \frac{\rho \sin \psi(t)}{1 + \rho \cos \psi(t)} \right\} \quad (19)$$

첫식에서 반송파 주파수 성분 ω_c 와 $\frac{d}{dt}(\cdot)$ 를 전개하여 고조파 성분을 제거하면 최종 출력신호 $e(t)$ 는 다음과 같이 된다.

$$e(t) = \Delta\omega \cos pt + \sum_{s=1}^{\infty} (-\rho)^s J_1(s\beta) \cdot \frac{p}{s} \cos(pt - s\phi) \quad (20)$$

식(20)에 의해 수치 계산한 결과를 그림 9.에 나타내었다.

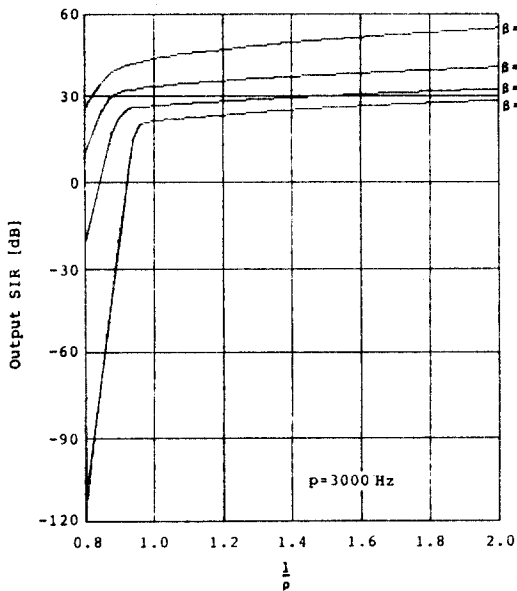


그림 9. 동일 채널 Tone 간섭의 영향을 받은 아날로그 FM 신호의 성능 곡선
Performance curve of Analog FM signal affected by cochannel tone interference.

6 - 2. 디지털 FM 방식

(1) FSK 방식

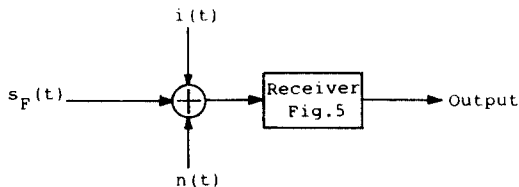


그림 10. FSK 수신기의 해석 모델
Analysis model of FSK receiver.

가우스 잡음과 동일 채널 Tone 간섭과의 영향을 받은 FSK 신호의 최종 합성신호의 웨이저도는 그림 11.과 같다.

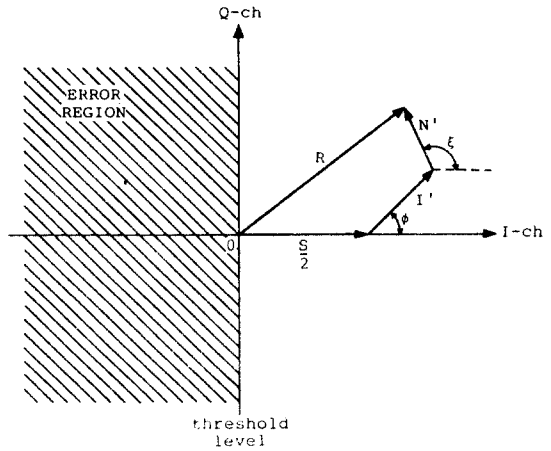


그림 11. 수신된 FSK 신호의 합성 웨이저도
Composite phasor diagram of received FSK signal.

그림 11.에의 합성 신호 벡터 끝이 빗금친 에러 영역에 들어가면 에러가 발생한다. 따라서, 최종 부호 오류율은 다음과 같이 유도된다.

$$P_{eI} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{\alpha_G}{2}} + \sqrt{\frac{2\alpha_G}{\beta}} \cos \phi \right) d\phi \quad (21)$$

단, $\alpha_G = \frac{S^2}{2\sigma_n^2}$: 반송파 대 잡음 전력비

$\beta = \frac{S^2}{I^2}$: 반송파 대 간섭신호 전력비

(2) MSK 방식

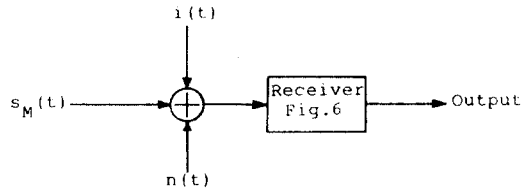


그림 12. MSK 수신기의 해석 모델
Analysis model of MSK receiver.

가우스 잡음과 동일 채널 Tone 간섭신호의 영향을 받은 MSK 신호의 최종 합성신호 웨이저도는 그림 13.과 같다.

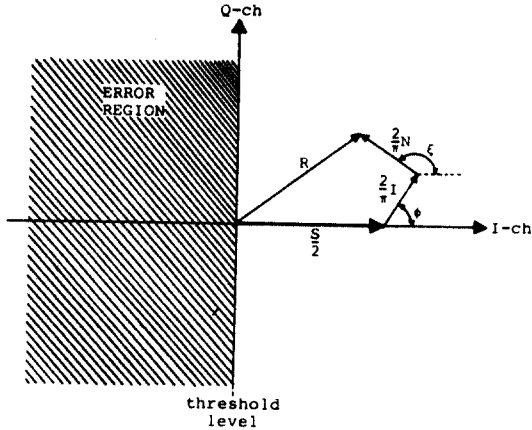


그림 13. 수신된 MSK 신호의 합성 페이저도
Composite phasor diagram of received MSK signal.

그림 13.에서 합성 신호 벡터 R이 빗금친 에러 영역에 들어가면 에러가 발생된다. 따라서, MSK 신호의 최종 평균 부호 오류율은 다음과 같이 유도된다.

$$P_{eI} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \text{erfc} \left(\frac{\pi}{4} \sqrt{\alpha_G} + \frac{\sqrt{\alpha_G}}{\beta} \cos \phi \right) d\phi \quad (22)$$

단, $\alpha_G = \frac{S^2}{2\sigma_n^2}$: 반송파 대 잡음 전력비

$\beta = \frac{S^2}{I^2}$: 반송파 대 간섭신호 전력비

식(21)과 식(22)에 의해 수치 계산한 결과를 그림 14.에 나타내었다.

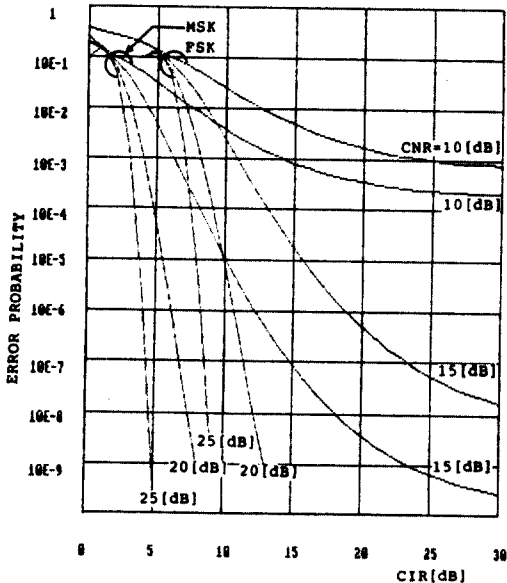


그림 14. 동일 채널 Tone 간섭의 영향을 받은 디지털 FM 신호의 오류 특성
Error performance of Digital FM signal affected by cochannel tone interference.

7. 결 론

수치 계산한 결과 그래프를 통해 아날로그 FM 방식에서 다중로 간섭의 영향을 받을 경우는 주어진 시간 지연 t_0 에 따라 변조 지수 β 의 최적치가 존재한다는 것을 알 수 있었으며, 동일 채널 Tone 간섭의 영향을 받을 경우는 아날로그 FM 방식의 일반적 특성대로 변조 지수 β 가 증가함에 따라 성능 개선이 커짐을 확인할 수 있었다.

디지털 FM 방식에서 다중로 간섭과 동일 채널 Tone 간섭의 영향을 받는 경우에는 두가지 경우 모두 MSK 방식이 FSK 방식보다 성능이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Philip F. Panter, Modulation, Noise and Spectral Analysis, New York : McGraw - Hill, 1965.
- [2] Donald L. Schilling, Principles of Communication Systems, New York : McGraw - Hill, 1986.
- [3] 김 현철, 조 성준, " 가우스성 / 비가우스성 잡음과 페이딩 환경하에서의 재반 디지털 통신 방식의 오류 특성, " 한국통신학회 춘계학술발표회 논문집, 1987.
- [4] I.S.Gradshteyn and I.M.Ryzhik, Tables of integrals of series and products, New York : Academic Press, 1980.