

〈論 文〉

# 外部雜音이 受信信號에 미치는 영향과 最惡조건의 限界

(Limit of the maximum Signal Levels from other Radio Noise and interference of the Reciving Signal)

金 元 厚\*

(Kim Won Hoo)

(접수일자 80. 12. 10)

## 要 約

이 논문은 무선통신 및 신호전송에 있어 가장 큰 장애가 되고 있는 잡음과 혼신이 신호에 미치는 영향을 분석하고 이로부터 신호검출이 가능한 범위를 찾기 위해 반도체 소자에 의한 확산잡음을 발생시켜 수신기에 주입한 결과 Random processes에 의한 Noise spectral density의 Level이 평균잡음세력과 신호 사이에서 error 발생의 원인이었으며 수신기의 threshold 전압이 기준신호에 섞인 white Gaussian Noise와 상호관계에 있음이 실험결과 확인되었다.

## —Abstract—

This paper describes a effect of Radio signals in Noise and Interference for the Communication systems and Generation of diffusion Noise from the Solid state Devices, and in Jection it to the Radio-Reciving systems for probability of Signal Detection.

The error performance depends on level of the Noise spectral density by Random processes between average signal energy. This experimental result are given by the performance of the correlation receiver for detecting Completely known signals in additive white Gaussian Noise.

## I. 서 론

잡음과 혼신은 모든 통신 시스템에서 동작범위의 제한을 받는 두가지 요인으로 되고 있다.<sup>1)</sup> Radio Noise에는 수많은 근원이 있지만 그중 공전잡음, galactic 잡음, man-made잡음, 그리고 수신기 잡음 등이 주된 잡음원으로 구분한다. 공전 및 galactic 잡음에 대해서는 CCIR Report 322<sup>2)</sup>에서 뉴욕 지방의 분포도를 작성하여 1963년에 발표한 바 있고 인위적 잡음에 대해서는 FCC work Grup 3와 Bell 연구소에서 측정 발표한 바 있다.<sup>3)</sup> 수신기잡음은 시스템 내부의 잡음이므로 회로소자, 변조방식, 복조방식 등 이외에 열잡음 기타 각종 잡음이 종합된 것이어서 이 분야의 연구는 매우 광범위 하게 진행되고 있다.<sup>3)4)5)6)7)8)9)</sup>

지구상의 잡음분포 상태를 고이득 저잡음 안테나로 측정하여 작성한 Radio-Sky Maps가 1973년 Taylor<sup>10)</sup>에 의해 만들어졌다.

또 Kraus<sup>11)</sup>는 무손실공중선 출력으로 얻어진 공중선 잡음은도에 관해 수학적으로 증명하였고<sup>11)</sup> 그후 Taylor에 의해 실제공중선에 적용할 수 있도록 간소화 시켰다.<sup>12)</sup>

상술한 바와같이 잡음원에 대해서는 많은 논문이 발표되고 있으나 잡음대책에 대해서는 수신신호에 미치는 특수사정으로 대부분 발표되지 않고 있다.

따라서 본논문에서는 Radio Noise 및 혼신을 분석하고 이것이 통신시스템에 미치는 영향을 실험을 통하여 밝히고저 한다.

\* 韓國航空大學教授, 正會員

## II. Radio Noise 와 주파수

수신 공중선을 통해 드러오는 잡음과 수신기 자체에서 발생하는 잡음으로 대별되는 잡음의 크기는 여러가지로 표현될 수 있으나 절대온도 290°K를 기준한 열잡음에 대한 수신잡음 전력으로 표시되는 것이 일반적이다.

수신기에서의 잡음레벨은 외부잡음원이 근본적인 근원이 되고 있어서 수신안테나로부터 수신되는 신호이득을 고려하지 않을 수 없다.<sup>13)</sup>

여기서 유능잡음전력과 통과대역폭 등에 따르는 실효공중선 Noise factor 를  $f_n$  로 표시하면 다음 식으로 표시된다.

$$f_n = P_n / kT_0 B = T_a / T_0 \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

여기서

- $P_n$  = 무손실 공중선의 실효잡음전력 (W)
- $T_0$  = 볼츠만의 상수 ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)
- $T_0$  = 기준온도 (290°K)
- $B$  = 실효수신기 잡음대역폭 (Hz)
- $T_a$  = 외부 잡음에 대응하는 실효 공중선온도 (Kelvins)

이 식은 수신지역을 중심으로 측정된 Radio Noise 를 나타낸 것이다.

여기에는 최우로인한 대기권잡음 태양 및 은하계로부터의 성층권잡음 인위적으로 발생하는 도시잡음 등이 포함된다.

주어진 상황에서 수신잡음의 한계와 잡음주파수 등을 고찰하면, 지역에 따라 각각 다른 분포가 되겠으나 대체적으로 인위적 잡음중 도시잡음은 대략 20~450 MHz 범위에서 약 16db 이하의 매우 큰 값을 갖는다. 이에 비해 대기권 밖으로부터의 잡음은 20MHz 이상으로 그 크기에 있어 매우 적은 값이지만 최근 위성통신을 위한 지구국 설치에 매우 중요한 요소가 되고 있다.

일반적인 수신기 잡음온도는 10MHz 범위의 100K 로부터 10,000MHz 범위의 2000K 에 이르고 잡음지수는<sup>14)</sup> -1.3db 에서 9.0db 에 이른다.

특히 성층권잡음은 극히 적은 값이긴 하지만 1000 MHz 이상의 저잡음 전치증폭기를 갖는 수신기에서는 대단히 중요한 것으로 Blake<sup>15)</sup>의 계산에 의하면 저항 특성 5°의 빔폭으로 수직방향에서 관찰한 공중선 잡음온도는 1000MHz 에서 약 90K, 3000MHz 에서 약 60K

이었으며 3GHz~10GHz 범위에서는 거의 60K 로 일정하였다.

이러한 잡음전계강도는 지역, 계절, 시간에 따라 변화하며 이는 Radio-Sky Map<sup>16)</sup>에 의해 그 분포상태를 알 수가 있다.

Atmospheric Noise 는 낙뢰로부터 발생하는 잡음이 주가 되고 있어서 계절, 시간, 지역에 따라 그 차가 심하며 국지적으로 매우 강력한 잡음강도( $E_n$ )을 나타낸다.

$$E_n = F_n + 20 \log f_{MHz} - 65.5$$

$$F_n = \text{noise Level}$$

이밖에 수신을 방해할 목적으로 고의적으로 발생하는 잡음의 경우는 ECM ECCM 분야에서 연구되고 있다.

## III. 수신기 잡음

수신기 잡음은 입력신호에 포함되는 것과 내부에서 발생하는 두 가지로 구분되는데 전자는 송신기 변조과정에서 발생하는 것이며 후자는 Thermal Noise 가 주가 되긴 하지만 각종 잡음원이 복합되고 있다.

수신기의 잡음은 등가잡음으로 측대파입력 (ENSI)의 값으로 정의되며 그 크기는

$$(ENSI) = m E_i (P'_n / P'_i)^{1/2} \text{가 된다.}$$

$$E_i = \text{무변조 반송파입력 (RMS)}$$

$$m = \text{변조도}$$

$$P'_i = \text{신호출력전력}$$

$$P'_n = \text{잡음출력}$$

수신기 Noise factor 는 수신기의질을 나타내는 factor 로 도래신호에 포함될 잡음의 값으로 된다<sup>14)</sup> 이 값을  $E_n$  으로 표시하면

$$E_n = \sqrt{4KT_0 R_0 \Delta f'}$$

가 되며 입력신호전압  $E_i$  에 대한 비를 구하면

$$E_i^2 / E_n^2 = (E_i^2 / 4R_0) / (KT_0 \Delta f') = P_i / N_i$$

여기서  $E_i^2 / 4R_0$  및  $KT_0 \Delta f'$  는 유능반송파 및 잡음전력을 나타낸다.

수신기 Noise factor F 는 다음 식으로 된다.

$$-\frac{P_0}{N_0} = F^{-1} \left( \frac{P_i}{N_i} \right)$$

$$F = (N_0 / N_i) (P_0 / P_i)^{-1} = E_i^2 / 4KT_0 R_0 \Delta f'$$

$$= P_i / KT_0 \Delta f'$$

여기서  $(P_0 / P_i)$  = 수신기의 유효이득 G 이다.

이 값을 데시벨로 나타내면

$$F_{DB} = \log_{10} F$$

수신기 실효대역폭을  $\Delta f'$  라 하면

$$\Delta f' = G^{-1} \int G_f df$$

으로  $G_f$  는 차동유효이득이며  $\Delta f'$  는 3db 감쇠점의 대역폭으로 잡음대역폭으로 대응된다.

신호성분에 포함된 잡음은 입력반송파에 잡음비로 표현되며 그림 1과 같은 수신계통을 거쳐 얻어지는 신호  $ed(t)$  는 국부발전신호  $A_c \cos(\omega_c t + \phi_c)$  와 합성되어 얻어진다.

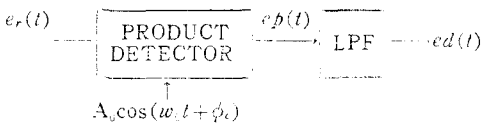


그림 1. 수신계통

이때  $ed(t) = Kg(t) \cos(\phi_c - \phi_s)$   $K = \text{constant}$

$(\phi_c - \phi_s)$  = 반송파와 국부발전 신호간의 위상차

이때  $(S/N_c)/(S/N_i) = 2\cos^2(\phi_c - \phi_s)$

가 되고 AM의 경우

$$(S/N_c)/(S/N_i) = 2m_1^2 (g)^2 \cos^2(\phi_c - \phi_s) / (1 + m_1^2 (g)^2 |g(t)|^2)$$

여기서  $(g)^2$  는 message function 으로  $m_1 = 1$   $\phi_c = \phi_s$  인 조건에서 성립된 값이다.

또 도락선 검출의 경우는 반송파가 잡음값보다 강력한 경우이므로 위식에서 단축대파 성분은 해당되는  $\cos^2(\phi_c - \phi_s)$  의 값이  $\phi_c = \phi_s$  가 되어 삭제된다. 따라서 이때 반송파에 잡음비는 저하되어 message function 에 포함되는 잡음이 증가한다.

### II. 수신신호와 검출오차

송신기로부터 전파된 신호가 수신기에 수신되는 과정에서 신호파형이 외부의 영향으로 왜곡이 생기며 또한 외부잡음이 이에 중첩되어 송출된 신호와 다른 형태의 신호로 변질된다. 이것은 RADAR 에 서도 같은 현상이 일어난다. 즉 기존 송신값스가 반사원에서 반사된 수신신호 사이에 위폭 및 잡음 중첩이 이루어져 전혀 다른 형태의 신호 내지는 모두 소멸되어 지는 수도 있다.

이와같이 기존신호에 대한 변형된 신호를 진폭, 위상, 주파수 및 수신시간 등의 파라미터로 표현하고 신호와 잡음이 Random 하게 혼합 되어진 상태에서 이들의 파라미터를 어느 정도로 검출할 수 있는가 하는 것이 매우 중요한 문제이다.

binary 통신시스템에서 시간폭 T 의 간격으로 펄스  $s(t)$  로 진폭이 일정하게 수신되어지고 있을 때 수신 신호  $r(t)$  는 수신잡음  $n(t)$  와 혼합되어  $n(t) = s(t) + n(t)$  로 되며 신호가 없을 때를 ( $H_0$ )로 가정하고 신호가 가해질 경우를 ( $H_1$ )이라 하면 신호가 없을 때에는  $r(t) = n(t)$  로 잡음성분만이 존재한다. 이 잡음성분을 White, Gaussian 잡음으로 생각할 때 white noise 에 대해서는 열주파수밀도에 의해 power spectral density 가  $(N_0/2)$  로 일정하며 수신신호의  $(N_0/2)$  의 값이 포함되는 것은 불가피하게 된다. 따라서 수신호  $s_n(t)$ ,  $s_1(t)$  는 binary 통신에 대한 수신신호의 경우는

$$H_0 : r(t) = n(t)$$

$$H_1 : r(t) = s_1(t) + n(t) \text{ 로 표시된다.}$$

이때 검출된 신호를 수신하는 경우 최적상태를 얻기 위해 수신검정법칙을 사용하여 임계치(threshold)  $\lambda$  와 비교비율(likelihood ratio)을 비교한다.

이 경우 신호의 시간  $t_k$  로 샘플링되었다면  $r(t_k) = s(t_k) + n(t_k)$

결과  $\lambda = 0, 1$  은 가설의 옳은 확률을 나타낸다. 이 확률 값을  $r_k = S/N = n_k$  로 다시 쓰면 상기조건을 만족하는 값은

$\lambda = 1/m$  범위에 있다.

가설 H 의 decision rule 을 수한의 값을 갖는 샘플 벡터로 표시하면 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda_c(r) = \frac{P_1(r_1, r_2, \dots, r_m)}{P_0(r_1, r_2, \dots, r_m)} \geq \lambda_c$$

이 때 복이 제한된 백색잡음 분포밀도는

$$s(\omega) = \begin{cases} N_0/2, & |\omega| \leq \Omega \text{ 이다.} \\ 0, & \end{cases}$$

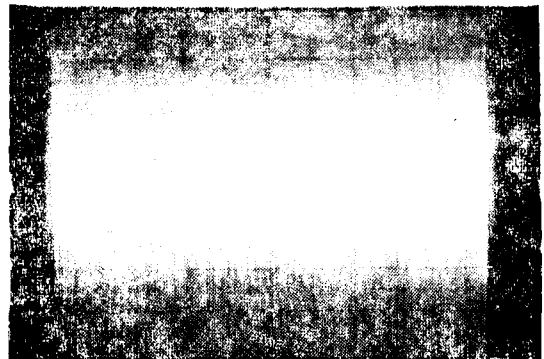


그림 2 Power spectral density and autocorrelation function of bandlimited white noise, The autocorrelation function has Zeros at  $\Omega T = k\pi, k = \pm 1, \pm 2, \dots$

Autocorrelation function 는

$$R(\tau) = \frac{N_0 \Omega}{2\pi} \frac{\sin \Omega \tau}{\Omega \tau}$$

이 관계를 그림 2 에 나타내었다.

처음  $R(\tau)$ 가 영이 되는 것은  $\tau = \pi/\Omega$  때이며 수신신호가  $\Delta t = \pi/\Omega$ 의 간격으로 샘플되었을 때에는 해당되지 않지만 gaussian의 경우 각각 통계적으로 나타난다. 간격  $(0, T)$ 의 경우 각 샘플은  $m = T/\Delta t = \Omega T/\pi$ 가 되며 샘플  $r_k$ 의 평방편차의 평균으로 우도비율을 정하게 된다.

즉 잡음평균이 영일때

$$E\{r_k\} = E\{s_i k + n_k\} = s_i k$$

$r_k$ 의 평방편차는

$$E\{[r_k - E\{r_k\}]^2\} = E\{n_k^2\}$$

이것이 바로 잡음의 평방편차이므로  $R(0)$ 때와 같아서  $\sigma_n^2$ 으로 고쳐쓸 수 있다.

$$\sigma_n^2 = N_0 \Omega / 2\pi$$

그래서 likelihood function  $P_0(r)$  및  $P_1(r)$ 을 구하여 likelihood ratio  $\lambda(r)$ 을 구하면

$$\lambda(r) = \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \left[ \frac{2r_k s_{1k}}{\sigma_n^2} - \frac{2r_k s_{0k}}{\sigma_n^2} - \frac{(s_{0k}^2 - s_{1k}^2)}{\sigma_n^2} \right]\right\}$$

가설 H가 만족하는  $\lambda(r) \geq \lambda_0$ 에서의 Log-likelihood ratio를 구하여 보면  $\Delta t$ 는 0에 접근하며 수신된 샘플진폭  $m$ 은 무한히 늘어난다. 따라서  $\Delta t = T$ 로 일정하게 된다.

또  $\Omega = \pi/\Delta t$  범위에서 잡음평방편차  $\sigma_n^2$ 은  $N_0/(2\Delta t)$ 와 같아진다. 이 관계를  $\Omega \rightarrow \infty$  범위내에서 얻어진 합의 값을 적분한 결과 식은

$$\frac{2}{N_0} \int_0^T r(t) s_1(t) dt - \frac{2}{N_0} \int_0^T r(t) s_0(t) dt \geq 1n\lambda_0 - \frac{1}{N_0} \int_0^T [s_0^2(t) - s_1^2(t)] dt$$

여기서 가설  $M_1$ 의 판정은

$$\int_0^T r(t) s_1(t) dt - \int_0^T r(t) s_0(t) dt \geq V_T$$

따라서 임계치는 다음으로 정의된다.

$$V_T = \frac{1}{2} N_0 1n\lambda_0 - \frac{1}{2} \int_0^T [s_0^2(t) - s_1^2(t)] dt$$

가설  $H_0$ 에는 Neyman-Pearson의 기준에 의해 임계값  $V_T$ 의 오류를 범할 확률을 정의한다.

일반적으로 통신용 수신기의 경우는 가설  $H_1$  및  $H_0$ 의 오차율이 각각  $\frac{1}{2}$ 로 되는 경우를 생각하고 이 결과 오차율의 극소화를 얻는다. 이 경우  $\lambda_0 = 1$ 의 조건에서 가설  $H_1$ 에 대한 decision rule로 표현하여 오차가능범위를 구한다. White Gaussian 잡음의 분포밀도  $N_0/2$

에 대한 오차는 다음과 같은 결과식으로 얻어진다.

$$P_e = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{[(1-\rho)E/N_0]^{1/2}} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} e^{-z^2/2} dz$$

$E$ : 두 신호의 평균 energy

$\rho$ : Time Crosscorrelation coefficient.

이 결과는 백색가우시안 잡음에 포함된 신호의 검출에 있어 오차발생을 판별하는 중요한 결과이다.

### V. 실험 및 결과

본연구는 근본적으로 on off Carrier Keyed system에 관한 잡음영향을 목적하였으며 이는 binary communication system의 경우와 근사적으로 일치하고 있다. 따라서 위 두수신기에 근본적으로 공통인 부분에서의 잡음의 영향을 실험적으로 검토함으로써 기존 수신신호에 대한 오차한계를 찾도록 하였다.

먼저 실험에 필요한 잡음원은 여러가지가 있으나 그중 Diode Noise Source를 택하였다. 즉 Diode의 포화전류  $I_d$ 를 흘렸을때  $\Delta f$ 의 주파수에 해당되는 잡음이 발생되는데 이 때 잡음진폭은  $I_d$ 의 증가에 따라 증가되고 있다. 이때의 잡음원의 크기는

$$i^2 = 2g I_d \Delta f \quad q: \text{축적된 에너지의 양}$$

이다.

특히 본연구에서 사용한 것은 에베르치 효과에 의한 다이오드 잡음원으로 그림 3과 같은 잡음을 발생시켰으며 또한 그림 4는 잡음 스펙트럼을 나타내었다.

그림에 보이는 잡음스펙트럼은 중심주파수 1200MHz에서 -45dbm으로 최대치를 나타내었고  $\pm 250$ MHz에서 -64dbm으로 감소되었다. 이것은 사용된 증폭기 특성에도 기인되었으나 수 10MHz의 낮은 범위의 잡음주파수로부터 수 GHz의 높은 범위에까지 분포되고 있음을 확인하였다.

여기에 사용된 잡음원 및 증폭기 기타 실험장치 구성은 그림 5에 보였다.

그림 6은 수신입력 상태에 따라서 수신출력측에 검출된 잡음상태를 나타낸 결과를 보인 것이다.

이것은 수신입력이 입력한계를 넘었을 때 기존 신호 식별이 불가능해짐을 나타내었다. 신호 검출 오차한계는 이보다 훨씬 낮은 신호전계장도 이내이다.

잡음 및 신호가 혼합될 때에는 두 개 이상의 신호가 혼신될 때의 경우와 달리 매우 불규칙한 상태의 스프리어스, 영상신호 등의 형태로 나타나며 이것은 수신

기의 선택특성에 따라 크게 차이를 갖는다.

좁은 수신대역내에서의 오차발생은 그 대역을 점유하는 잡음밀도에 좌우되었다.

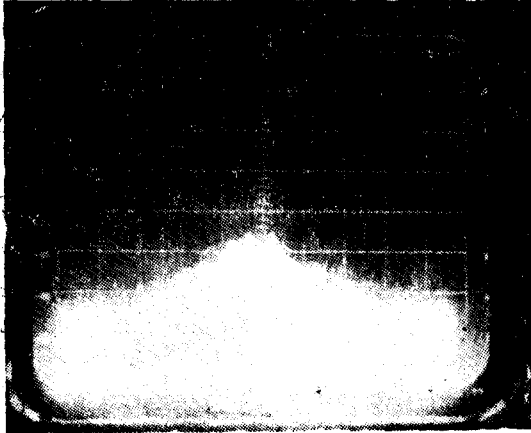


그림 3 잡음원 출력파형

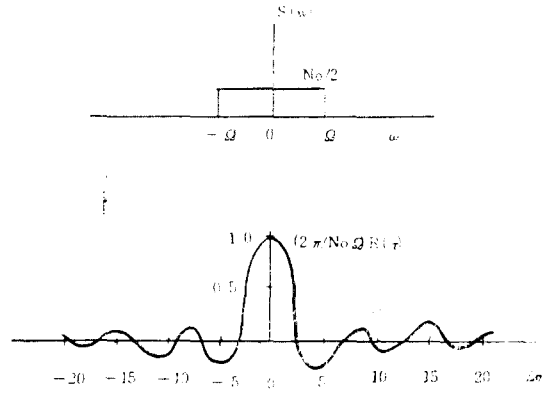


그림 6 수신출력파형

- A : 입력이 한계치 이하일때
- B : 입력이 한계치 과일때

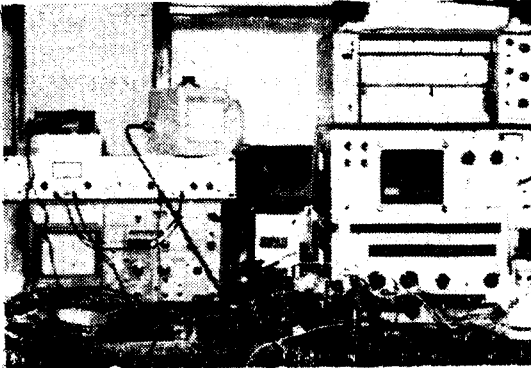


그림 4 잡음 스펙트럼

결 론

수신신호에 장애를 주는 혼신 및 잡음에 대한 영향 중에서 주원인인 외부잡음이 수신신호에 미치는 영향을 원인별로 분석하였고 이를 실현하기 위해 Diode Noise SOURCE를 통해 수신기에 주입 시험한 결과 수신기의 선택특성에 따라 장애의 차이는 있으나 특히 좁은 수신대역 내에서의 오차발생은 Noise spectral density에 크게 좌우되었으며 이로 인한 영향이 Random Frequency에 의한 Infrference와 잡음전력의 강도변화로 수신입력에 대해 복합적으로 작용되어 피할 수 없는 심한 장애를 이르켰다.

잡음이 대한 장애를 피할 수 있는 연구는 계속되어야 하며 이를 위한 수신회로의 개발이 계속 되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

(1) A.D. Watt, R.M. Coon, E.L. Maxwell, and R. W. Plush, "Performance of some Radio Systems in the Presence of Thermal and Atmospheric

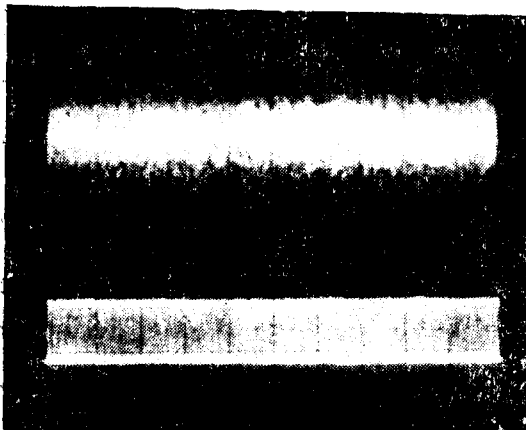


그림 5 실험장치의 구성

- Noise," Proceeding of the IRE, Vol. 46, pp. 1914 ~1923; December 1958.
- (2) CCIR Report 322, 10th Plenary Assembly, Geneva; 1963.
- (3) Bell system Technical Journal November 1952.
- (4) H.T. Friis, "Noise Figures of Radio Receivers," Proceeding of the IRE, Vol.32, pp.419~422, July 1944.
- (5) "Standards of Measuring Noise in Linear 2-ports," proceeding of the IRE, Vol. 48, pp.60~68, January 1960.
- (6) L.V. Blake, "Antenna and Receiving-System Noise-Temperature Calculation," NRL Report 5668. U.S. Naval Reserarch Lab. Sep. 19, 1961.
- (7) P.F. Panter, "Modulation, Noise, and Spactral Analysis," 1965 McGraw-Hill.
- (8) Anthony D. Whalen "Detetion of Signal in Noise" 1971 Acadmic Press.
- (9) Van Perziel "Noise; Sources, characterization, Measurement." 1970 prentice-Hall.
- (10) R.F. Taylor, "136MHz/400MHz Radio-Sky Maps" Proceeding of the IEEE, Vol. 61, No. 4, Proceedings Letters, pp.469~472, Apil 1973.
- (11) J.D. Kraus, "Radio Astronomy," McGraw-Hill, 1966.
- (12) R.F. Taylor and F.J. Stocklin, "VHF/UHF Stellar Calibration Erro Analysis", Proceeding International pp.553~566, September 1971.
- (13) "Reference Data for Radio Engineers" ITT, 1975.
- (14) H.T.Friis, "Noise Figures of Radio Receivers," Proceeding of the IRE, Vol. 32, pp. 419~422; July 1944.
- (15) E.L. Lehmann, Testing statiscital hypotheses, John Wiley, 1959.