

전자파 환경 조사 연구

양윤석 · 정삼영

요 약 문

본 보고서는 전자파환경에 있어서 각종 불요전자파 발생원에 대해서 살펴보고 특히 무선통신의 심각한
장해요인이 되고 있는 도시잡음의 발생원과 분포상태를 분석해 보았다.

그리고 차후 계속해서 수행될 전자파환경 측정연구를 위해 측정방식 및 측정 시스템에 관한 조사와 측정된 자
료의 분석방법 등을 고찰 하였다.

목 차

| | |
|------------------------|----|
| 제 1 장 머리말 | 58 |
| 제 2 장 전파잡음의 발생원 및 분포상태 | 59 |
| 1. 대기잡음 | 60 |
| 2. 온하잡음 | 62 |
| 3. 인공잡음 | 64 |
| 4. 열 잡음 | 66 |
| 5. 기타 각종 노이즈 발생원의 조사 | 68 |
| 제 3 장 측정이론 및 통계적 분석이론 | 73 |
| 1. 광대역 잡음의 측정이론 | 73 |
| 2. 잡음의 통계적 처리 | 75 |
| 제 4 장 측정 및 분석 | 77 |
| 1. 측정 장비 | 77 |
| 2. 도시 잡음 측정 및 분석 | 78 |
| 제 5 장 맺음말 | 80 |
| 참 고 문 헌 | 81 |

제1장 머리말

산업 사회의 발달로 전자파 환경은 날로 악화되어가고 있고 각종 전기 전자 기기로부터의 불요 전파 복사는 타기기에 오동작을 유발시킬 뿐만 아니라 통신장해의 원인으로써 산업재해의 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서 세계 각국에서는 불요전자파 문제를 개선시키기 위한 방안으로 전기 전자 기기등에 대한 EMI 규제를 행하고 있고 향후 EMS에 대한 규제까지도 검토되고 있다.

이러한 전자파 장해의 문제점을 해결하고 방지대책을 수립하기 위해선 먼저 전자파 환경에서의 불요 전자파의 발생원을 규명하고 이를 정확히 측정하여 통계적 분포상태를 얻어 데이터베이스를 구축함으로써 해당지역의 전파환경 상태에 대한 확실한 정보를 얻어 신설 무선국동에 기본자료로 활용 할 수 있어야 하겠다.

최근 전자파 환경오염 (Electromagnetic pollution) 의 측면과 관련하여 이들 잡음에 관한 다방면의 연구가 진행되어 오고 있으며 본 보고서는 당 연구소의 10개년 계획의 일환으로써 자연잡음 및 인공잡음의 발생원과 무선 통신에 장해가 되고 있는 도시잡음 분포 상태 조사 및 측정에 대하여 살펴보았다.

제 2장 전파잡음의 발생원 및 분포상태

전파 잡음의 발생원으로는 크게 대기잡음, 온하잡음, 인공잡음 그리고 수신기잡음으로 대별할 수 있다. 이 잡음의 레벨은 많은 방식으로 표현될 수 있으나 일반적으로 측정 가능한 잡음 전력은 대역폭에 비례하기 때문에 잡음 전력은 유효 안테나 잡음 계수 f_a 의 향으로 나타낼수 있다.

$$f_a = P_n / kT_oB = T_a / T_o \quad (1)$$

P_n : 균등한 손실없는 안테나로 부터 얻어진 잡음 전력 [W]

$k = 1.38 \times 10^{-23}$ joules / kelvin : 볼츠만 상수

$T_o = 290$ kelvins ; 기준 온도

B : 수신기의 유효 잡음 대역폭 [Hz]

T_a : 외부 잡음으로 발생하는 유효 안테나 온도 [K]

전파 잡음의 중요한 발생원에 대한 잡음레벨을 단위 대역폭당 잡음전력 F_a 의 주파수의 함수로써 살펴보면 그림 1)과 같다.

대기잡음 곡선은 뉴욕시에서 여름 밤 그리고 겨울 낮 기간동안 측정하여 얻어진 자료이다. 온하잡음 곡선은 ± 2 dB정도의 변화내에서 거의 온하 잡음의 상한값이 될 것이다. 하지만 어떤 상황에서든지 수신되는 잡음은 안테나의 방향성과 임계 주파수를 고려하여 계산되어야 한다.

인공잡음은 두개의 곡선이 그려져 있는데 윗쪽의 곡선은 도시지역에서 기대되는 값이고 낮은쪽의 곡선은 도시주변 지역에서 기대되는 값이다.

전형적 수신기의 잡음 온도는 10MHZ 에서 약 100K, 10000MHZ 에서 2000 K로 변화되고 있는 것을 알수 있고 레벨 F_a 값으로는 -1.3dB 에서 9.0dB 로 대응된다.[1] [2]

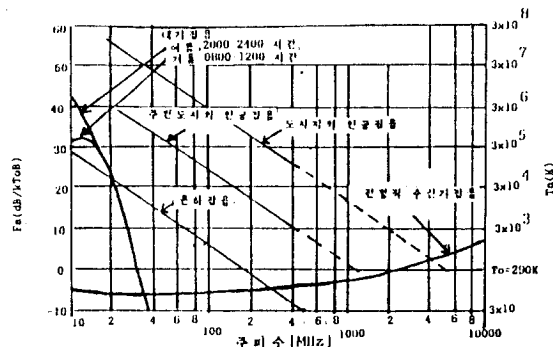


그림 1) 많은 잡음 발생원으로 부터 기대되는 평균 잡음 전력의 측정값

1. 대기잡음 (Atmospheric Noise)

이 잡음은 대개 뇌우때 번개의 방전으로 발생하게 되고 이 잡음의 레벨은 주파수, 하루의 시간, 날씨, 계절 그리고 지형적 위치에 관계된다고 볼 수 있다. 지역적으로 폭풍우 지역에 많이 발생하게 되는 이 잡음은 지표면의 위도 (latitude) 가 증가함에 따라 감소하게 되고 약 20 MHz 이하 주파수의 잡음으로 조용한 지역에서 많이 발생한다.

대기잡음 레벨 도표는 전세계의 각 지역에 대해 수신기에서의 대기잡음 레벨을 알아보기 위해 사용되기도 한다.

그림2)에 여름의 1200-1600 의 지역시간 동안의 대기잡음 레벨 분포도가 그려져 있다.[2] 이 잡음지도는 짧은 수직 grounded 다이폴에 수신된 중간 잡음 레벨 값을 보여주고 있다.

이 파라미터를 유효 잡음 강도 세기로 나타내면 다음 식과 같다.

$$E_n = F_n + 20 \log_{10} f_{MHz} - 65.5 \quad (2)$$

E_n = 대역폭 1kHz에 대한 유효 잡음 강도 세기 [$dB \mu v/m$]

F_n = 잡음 레벨 [$dB/kToB$]

f_n = 주파수 [MHz]

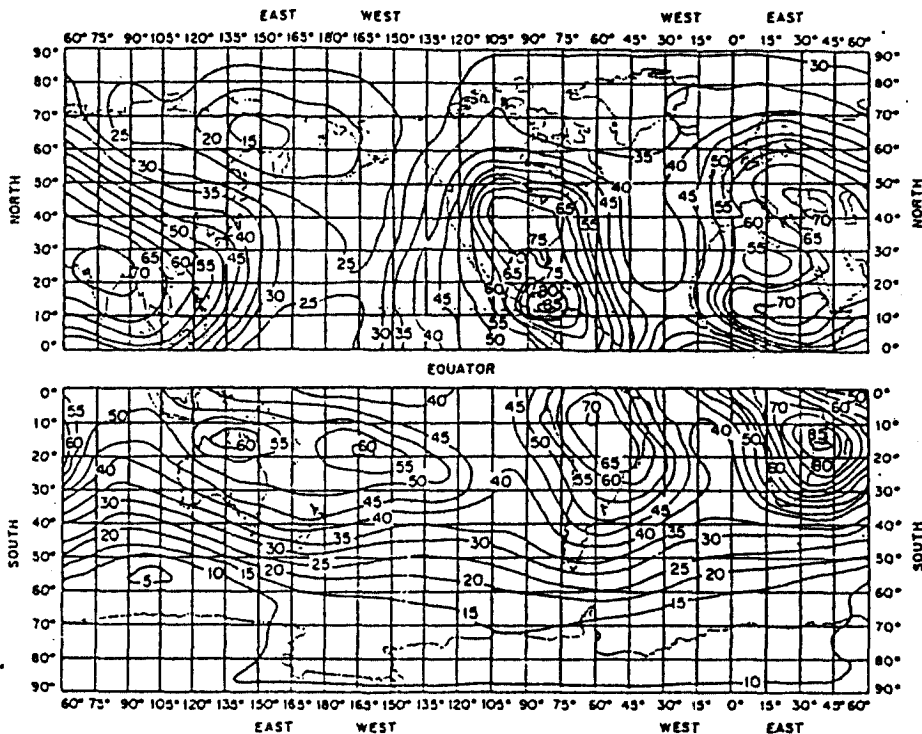


그림2) 여름,지역시 1200-1600 시간, 북반구,남반구에서의 대기 잡음 레벨,
이 도표는 1MHz에서 F_n 의 기대값을 보여준다 [$dB/kToB$] (from CCIR
보고서 322, 10th plenary Assembly, Geneva ; 1963)

ㄱ. 뇌우 공전의 스펙트럼 진폭 분포

뇌우는 대기상태에서 번개와 같은 전기 방전으로 발생하게 되는 국소화된 열역학 과정이라고 볼 수 있다. 뇌우는 일련의 불규칙적인 섬광으로 이루어지게 되고 광범위한 주파수에 걸쳐 발생하게 된다.

많은 연구자들에 의해 1KHZ - 10GHZ 까지의 주파수 대역에서 공전의 스펙트럼 진폭 분포의 평균 레벨을 예견하기 위한 연구가 진행되어 왔다. [3] [4]

1GHZ 이상의 주파수 대역에서는 정확한 자료는 구할수 없었고 단지 이론적 계산으로 추측 가능한 결과만 얻을수 있다.

측정에 요구되는 장비의 복잡성과 뇌우 발생의 확률적인 문제점등으로 인하여 뇌우 공전 스펙트럼의 측정의 범위가 한정적일 수 밖에 없었다.

표 1 문헌조사 : 뇌우공전 연구

| 조 사 자 | 관측주파수 | 인대치분류 | 수신가 대역폭 | 평균공전 거리 | 정규화된 피크 전계강도 세기, 중간값(dB μ V/m) |
|-------------------------------|------------|------------|---------|------------|--|
| Watt and Maxwell(1957) * | 1KHz-40KHz | - | - | 20-30 | See composite curves, 그림 3 |
| Horner and Bradley(1964) | 40KHz | 수 령 | 250Hz | | |
| Horner and Bradley(1964) | 40KHz | 수 령 | 250Hz + | 4-10 | 136 |
| | 550KHz | " | 250Hz + | 4-10 | 105 |
| | 11KHz | " | 250Hz + | 4-10 | 82 |
| | 200KHz | " | 250Hz + | 4-10 | 48 |
| | 400KHz | " | 250Hz + | 4-10 | 43 |
| Aiya (1955) | 2.9MHz | " | 6KHz | 400-2500 | 60 |
| | 4.7MHz | " | 6KHz | 400-2500 | 58 |
| Aiya and Sonde (1963) | 3MHz | " | 6KHz | 1-15 | 52.4 |
| Horner and Clarke (1958) | 11KHz | " | 300Hz | 1-4 | 73 |
| Horner (1962) | 6KHz | " | 300Hz | 6.25+ | 134.6 |
| | 11KHz | " | 300Hz | 6.25 | 81 |
| Hallgren and MacDonald(1962) | 30KHz | " | 50KHz | 1+ | 50 |
| | 75MHz | " | 50KHz | 1+ | 47.5 |
| | 90MHz | " | 50KHz | 1+ | 42 |
| | 150MHz | " | 50KHz | 1+ | 45 |
| | 400MHz | " | 50KHz | 1+ | 43 |
| Hallgren and MacDonald (1963) | 100KHz | " | 50KHz | 1+ | 50 |
| | 200MHz | " | 50KHz | 1+ | 48 |
| | 400MHz | " | 50KHz | 1+ | 45 |
| | 600MHz | " | 50KHz | 1+ | 42 |
| Schafer and Goodall(1939) | 150MHz | " | 1.5MHz | 2-20 | 33.25 |
| Pawsey (1957) | 200MHz | 수 령 | 100KHz | 100-175 | 24.4 |
| Hewitt (1957) | 600MHz | - | 1MHz | 4-12 | 5.8 |
| | | (Parabola) | | | |
| Brok and Kitagawa (1964) | 420MHz | 원 형 | 1.5MHz | 6-20 | 17 |
| | 850MHz | " | 1.5MHz | 6-20 | 0.2 |
| Japan URSI (1963) | 100KHz | 수 령 | 10KHz | 18.7 | 105.4 |
| | 200MHz | " | 10KHz | 18.7 | 25.4 |

* Calculated from data of E.F.Florman, NBS Rept.3558, November 10, 1955.

+Normalized by author; actual bandwidth of receiver not given.

+Normalized by author; actual distance not given.

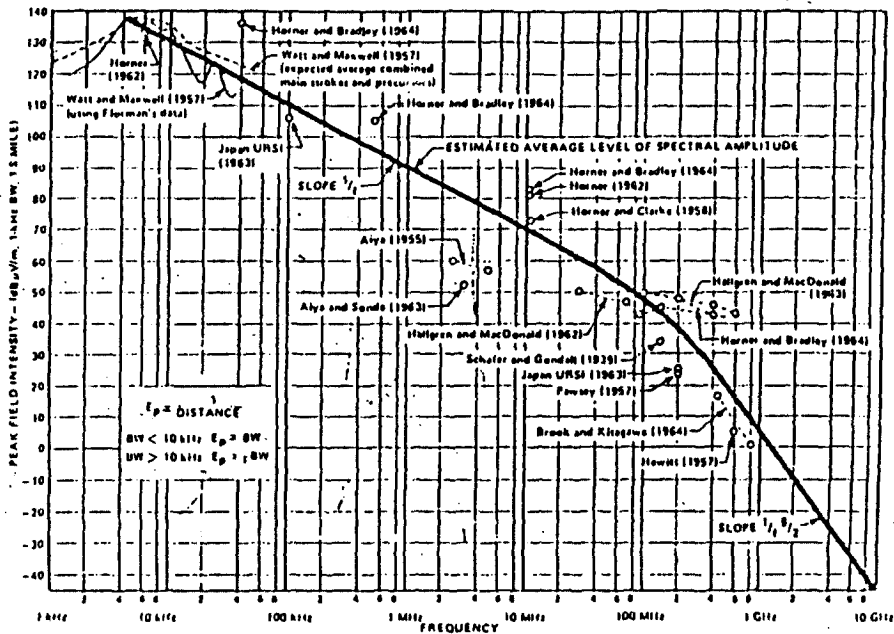


그림3) 뇌우 공전의 스펙트럼 진폭 분포도

낮은 주파수 1KHZ - 50 MHz 까지 뇌우 공전의 스펙트럼 진폭 분포는 주파수의 역 ($1/f$)로 감소하고 500MHz 이상에서는 $1/f^{3/2}$ 에 따라 변화한다. 50MHz 에서 500MHz 사이 주파수 대역에서는 진폭 분포가 $1/f$ 과 $1/f^{3/2}$ 을 연결한 곡선을 만든다. 수신기 대역폭 10KHZ 에서 뇌우 공전의 전계 강도 최대치는 뇌우지점과 관측자 사이의 거리 1 마일, 1KHZ 에서 130dB μ V/m 이고 1MHz에서 대략 90dB μ V/m, 100MHz 에서 48dB μ V/m, 1GHz 에서 5dB μ V/m 그리고 10GHz 에서 -45dB μ V/m 이다.

2. 은하 잡음(Galactic Noise)

은하 잡음의 주요 발생원으로는 태양, 은하면으로 부터의 전자파 복사 그리고 은하면을 따라 분포된 많은 불연속 우주 원 (cosmic source) 으로 부터의 복사들로 볼 수 있다.

지구의 표면에 도달하는 은하 잡음은 전리층 및 대기층의 흡수로 대략 15 - 100000MHz 의 주파수 범위로 한정된다.

은하 잡음은 주파수 범위 약 45MHz 에서 250MHz 까지 작동하는 전형적 라디오 수신기에 심각한 장애 요소로 작용한다. (그림 1 참조)

그림4)는 반파장 다이폴안테나로 측정된 은하 잡음의 레벨을 보여 주고 있다. 이 잡음 레벨은 대기의 흡수를 고려하지 않고 아래의 은하 잡음 발생원으로 부터의 전파잡음을 측정된 것이다.

- 은하면 (Galactic plane)

은하의 중심 방향에서 은하면으로 부터의 방사잡음.

은하면의 다른 방향에서의 잡음 레벨은 그림 3에 주어진 레벨보다 12-15dB 낮다.

- 조용한 태양 (Quiet Sun)

조용한 태양으로 부터의 잡음 : 태양 흑점의 활동이 없거나 거의 없을때 태양으로 부터의 잡음

- 활동 태양 (Disturbed Sun)

활동 태양으로 부터의 잡음 : disturbed 는 태양흑점의 활동과 태양면 폭발 플레어의 활동이 있는 태양으로 부터의 잡음.

- 카시오피아 A

카시오피아 A 로 알려진 우주 잡음의 고강도 불연속 잡음원으로 부터의 잡음, 이것은 기지의 수백개의 불연속 잡음원 중의 하나이다. main lobe 가 은하면을 향한 아주 좋은 방향성을 가진 안테나에 수신된 우주 잡음 레벨은 Kraus 가 구한 방정식으로 다음과 같이 구할수 있다. [5]

$$T_a = \frac{\int_0^{\theta-90-\theta} \int_0^{\psi-2\pi} T(\theta, \psi) G(\theta, \psi) \sin \theta d\theta d\psi}{\int_0^{\theta-90-\theta} \int_0^{\psi-2\pi} G(\theta, \psi) \sin \theta d\theta d\psi} K \quad (3)$$

θ = 0...(천정)

ψ = 360...방위각

$T(\theta, \psi)$ = Radio-Sky map으로 부터 밝기 - 잡음 온도 분포 [K]

$G(\theta, \psi)$ = 안테나 복사 패턴 이득 분포, 대칭으로 가정함.

θ = 수평과 안테나 main lobe 축 사이의 최소 높이 각 [degree]

그러나 실제 안테나의 경우 Taylor 와 Stocklin 에 의해 main lobe, side lobe 그리고 back lobe 로 부터의 영향을 포함한 단순화된 근사값 T_a 가 다음과 같이 정의 된다. [6]

$$T_a \cong 0.82 T_{sky} + 0.13(\bar{T}_{sky} + T_B) K, \text{ solid-angle beam} \quad (4)$$

$\theta_{HPBW} = \psi_{HPBW} \leq 25$ 에 대하여

T_{sky} = main lobe HPBW 내에서 Sky-brightness 온도의 평균치, [K]

T_{sky} = 안테나 side lobe 내에서 Sky-brightness 온도의 평균치, [K]

$T_B \cong T_0 = 290K$, 지구의 유효 잡음 온도

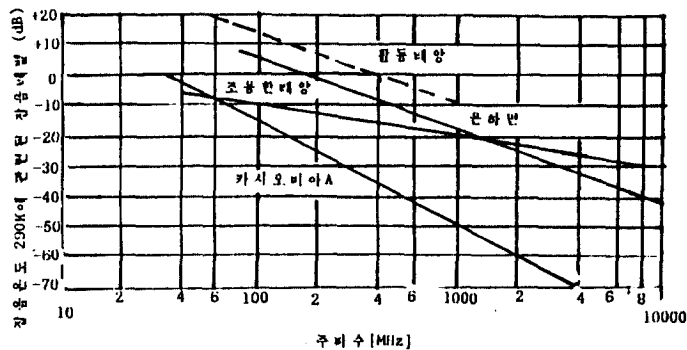


그림4) 반파장 다이폴 수신 안테나로 측정한 온하잡음 레벨

3. 인공 잡음(Man-made Noise)

인공 잡음의 진폭은 주파수가 증가함에 따라 감소하게 되고 지역에 따라 다양하게 된다. 인공 잡음의 주된 발생원으로는 수신 안테나의 수백 yard 내에 위치한 전기모터, 내온사인, 전력선 그리고 점화 시스템등이 있다. 그러나 고주파 의료용 기기나 고전압 송전선은 아주 먼 거리에서도 간섭을 유발시킨다. 미국의 도시지역에서 인공잡음 전력의 평균 레벨은 16dB 정도이고 도시근교 지역보다 훨씬 높다.

조용한 농촌지역에서의 잡음 레벨은 전형적인 도시 근교에서 보다 낮은 15dB 정도 된다. 도시에서 아주 멀리 떨어진 지역에서 인공 잡음의 레벨은 일반적으로 10MHz 이상의 주파수 범위에서 온하 잡음 레벨 보다 낮을 것이다.

HF 대 이하의 주파수 영역에서 가장 중요한 잡음원은 송전선 잡음이다. 특히 고압이나 초고압 송전선에서는 코로나 방전에 의한 것으로 그 준 침투 전계강도는 주파수의 1.5곱에 반비례하고 있다. VHF 대 이상의 주파수 영역에서는 자동차 잡음이 주이고 이것은 점화 시스템에서 나오는 불꽃 방전에 의한 것이고 주파수 특성은 그림5)에 표시되어 있다. [7]

글로 방전에 의한 잡음에는 형광 잡음이 있으며 라디오 수신 장애의 중요한 원인이 되고 있다.

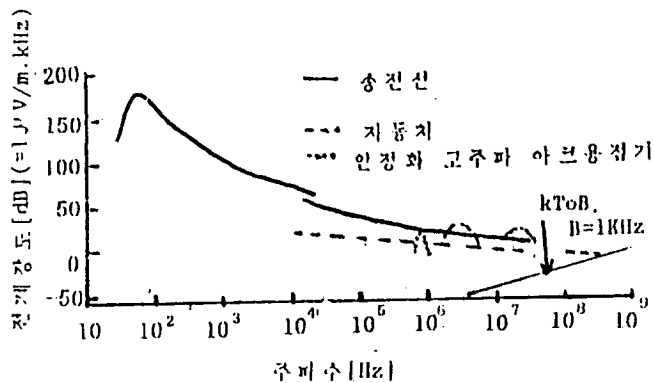


그림5) 송전선, 안정화 고주파 아크용접기 및 자동차 잡음강도
(kToB에 대응하는 전계 강도도 표시함)

전력 소비량, 자동차대수, 인구의 증가에 따라 인공 잡음은 증대하여 최근 무선 통신에 미치는 장애가 극심하게 되었다. 일반적으로 무선 통신에 장애가 되고 있는 인공 잡음의 주파수 영역은 UHF 주파수 대역이라 하겠다. 특히 자동차 이용의 증대로 점화 시스템에서 발생하게 되는 이 잡음은 도시에서 인간의 활동과도 밀접한 관계를 갖게 되므로 도시의 기능별 상업지역, 거주지역, 또는 농촌지역으로 세분화하여 인공 잡음의 발생원 및 분포 상태를 살펴보는 것도 흥미로운 일이라 하겠다. 프렌치 [8]에 의하면 UHF 주파수 대역에서 자동차 점화 시스템에서 발생하는 잡음은 이동 통신 시스템에 중요한 오차 요인으로 되고 있고 거의 20%의 오차를 주게 된다는 사실을 알아 내었다.

일반적으로 라디오 통신 시스템을 개발하는데 있어서 필요한 전파 잡음에 대한 정보는 다음과 같다.

- S/N (신호에 대한 잡음의 비율) 비에 대한 전력 레벨은 어느 정도인가
- 진폭, 순간적인 특성이 어떠한가
- 잡음이 통신 시스템에 얼마나 영향을 미치는가

CCIR 보고서에 의하면 주파수 500 - 1000MHz 대역에서 도시 잡음은 4000K 이상의 중간 잡음 레벨을 나타내고 조용한 도시지역과 도시 근교 지역에서는 1000K 이하의 잡음 레벨을 그리고 최소 자연 잡음 레벨은 대략 50K 정도이다. [9] [10]

4. 열 잡음(Thermal Noise)

열 잡음은 저항체에서 전자의 열적 동요에 의해 발생하고 회로의 동작한계를 결정짓는 요인이 된다. 열 잡음은 저항을 포함하는 회로에는 반드시 존재하고 그 크기는 다음과 같다.

$$\bar{V}_n = \sqrt{4kTB R} \quad (5)$$

k : 볼츠만 상수 = 1.38×10^{-23}

T : 절대온도 [K]

B : 잡음의 bandwidth [Hz]

R : 저항 [Ω]

이 결과 저항은 그림 6 에 나타난 등가회로로 표시할 수 있다.

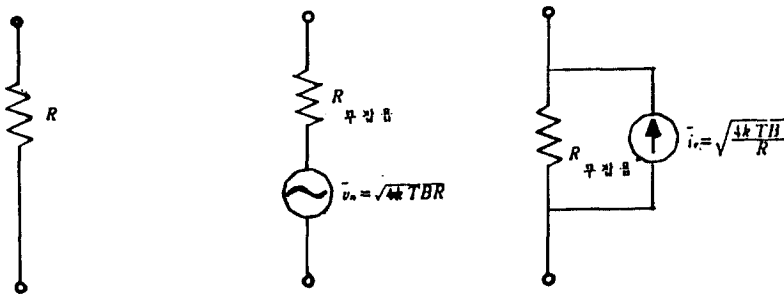


그림6) 저항중의 열 잡음 표시

저항으로 부터 발생한 열 잡음 전력은 저항치 및 주파수에 관계없는 일정치로 되어 P_n 은 $\bar{P}_n = kTB$ [W] 이다. 열 잡음의 순시 진폭치는 그림 7 처럼 가우시안 분포를 따르고 평균치는 0이다.

열 잡음의 주파수 대역은 무한이기 때문에 응답 대역에 따라 잡음대역은 결정된다. 실제 회로에 있어 그 회로의 응답을 $G(f)$ 로 하면 등가 잡음 대역폭은 다음과 같다.

$$B = \frac{1}{|G_0|^2} \int_0^\infty |G(f)|^2 df \quad (6)$$

RC 저역 통과 회로에서는 $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ 로 되고 $B = \frac{\pi}{2} f_c$ 로 되어 등가 잡음 대역폭이

3dB 대역폭의 $\frac{\pi}{2}$ 배가 된다. (그림 8참조), 2개의 잡음이 중첩되어 만났을 때의 잡음 전압은

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{V}_{n1}^2 + \bar{V}_{n2}^2 + 2\eta \bar{V}_{n1} \bar{V}_{n2}} \quad (7)$$

가 되며 여기서 η 는 상관계수이다.

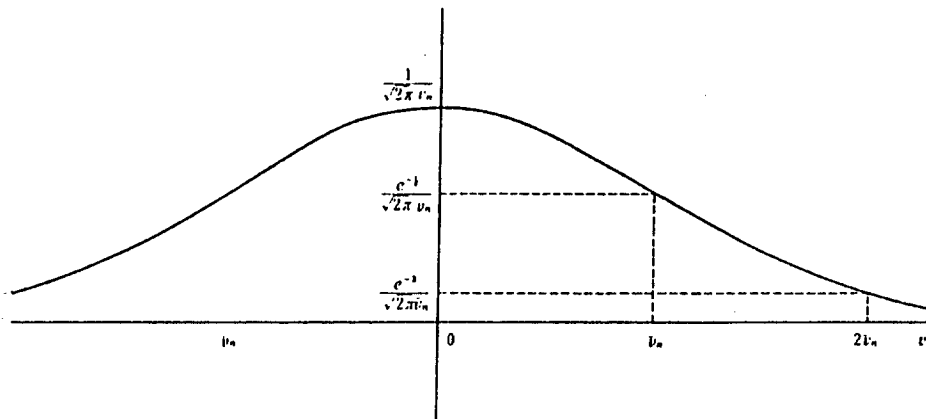


그림 7) 열 잡음 전압의 확률밀도 함수

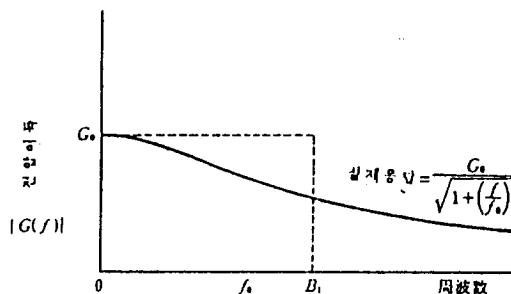


그림 8) 등가 잡음 대역폭

5. 기타 각종 노이즈 발생원의 조사

노이즈는 특정 시스템에 필요로 하는 신호를 제외한 의도성 혹은 비의도성 복사체로부터의 모든 전자파 에너지로 생각할 수 있다. 일반적으로 관측할 수 있는 노이즈 환경은 자연 노이즈와 인공 노이즈로 대별할 수 있다. 여기서 인공잡음에 대한 노이즈를 살펴보면 의도성 전파 복사체로부터 발생하는 복사가 가장 많은 전자장을 발생하게 된다. 의도성 복사체로부터의 노이즈 밀도는 인구밀도와도 상당한 관련성이 있다. [11] [12]

전자파 잡음 환경을 발생원으로 분류하여 살펴보면 그림9)와 같다.

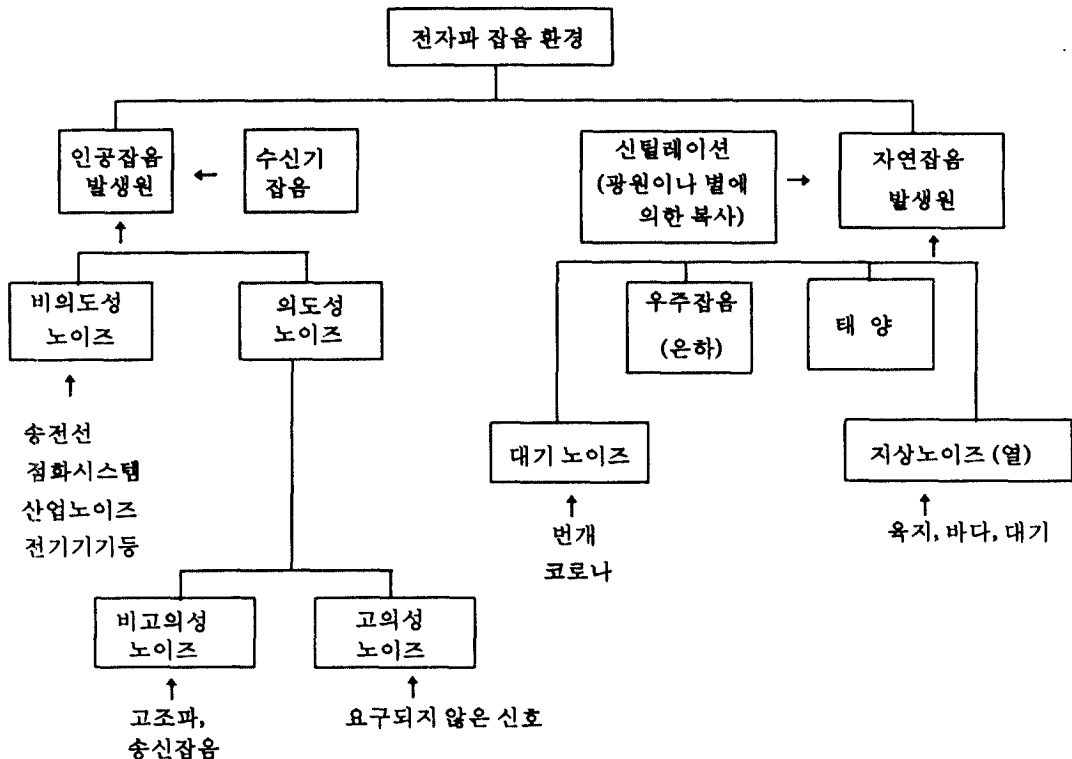


그림9) 전자파 노이즈 환경을 이루는 발생원 구조

비의도성 인공잡음도 또한 전자파 환경에 많은 영향을 주게 되는데 이러한 비의도성 발생원을 살펴보면 표2)와 같다.

표2) 비의도성 인공잡음 발생원

| |
|---------------------------------------|
| 송, 배전선 |
| 점화 시스템 (자동차, 항공기, 작은 엔진등) |
| 산업용 조립 및 제어장비 (아크 용접기 포함) |
| 전기 모터 및 발전기 |
| 전기 버스 및 전동차 |
| 교신 장치 (온도 센서, 벨, 버저) |
| 전기 조절기, 스위치, 변환장치 (SCRs, ac/dc 변환기) |
| 의료용 및 과학용 장비 |
| 램프 (개스 방전 장치 및 네온사인) |
| 그외 많은 전기를 사용하는 소비제품 (전자 오락기 및 컴퓨터) |

이들 비의도성 기기로 부터 발생한 노이즈 레벨은 의도성 전파 발생원으로 부터의 노이즈 레벨보다 훨씬 낮다.

< 자연 잡음 >

| | | |
|----------|---|--|
| 대기 잡음 | 공전 (대기중의 방전으로 발생하여 수신기에 잡음을 일으키는 전파) | 구름간 방전, 대지 방전에 의해 발생하는 전파잡음이며 근거리 공전에서는 주파수 범위도 LF 부터 UHF 까지이고, 특히 전원선, 전화선, CATV 시스템 그리고 송수신 안테나등에 피해를 많이 입힌다. 원거리 공전에서는 거의 HF 대에서만 전리층의 영향을 강하게 받아 수신방해로 된다. |
| | 침적 | 모래먼지와 모래바람등의 입자들의 접촉에 의하여 정전하가 축적되고, 이것이 방전할 때에 전자파 잡음을 발생한다. 특히 직접 안테나로의 방전이 문제로 된다. 눈보라와 빗방울에서도 전기를 띄어 전자파 잡음의 발생원인으로 될 수 있다. |
| 은하 잡음 | 태양 | 태양의 흑점 활동에 의해 발생하게 되는 전파잡음은 VHF 부터 SHF 까지 걸쳐 있고 그외에 지구 자기권에 영향을 주는 경우에는 HF 주파수대 통신은 거의 불가능 하게 된다. |
| | 은하계 | 우주로 부터의 중성자별, 초신성, 개스 상성운동, 은하계, 은하계 외로 부터의 각종 우주잡음 |

전파연구소 제48호, 1991년 연구보고서

| | | |
|----------|-----|--|
| 회로 잡음 | 열잡음 | 자연잡음 중에서 가장 귀찮은 잡음으로 저항을 가지는 회로 내부에 존재하기 때문에 회로의 동작한계를 결정짓는 중요한 요인이 된다. 도체중의 자유전자의 불규칙적인 운동에 의해 생기는 것으로, 도체중의 온도에 비례하여 요동을 하게 된다. |
|----------|-----|--|

< 인공 잡음 >

| | | |
|-----|-----------|--|
| 전력선 | 가공선 | 송전선은 상당히 긴 안테나로써 동작하고 있다. 대전류가 흐르고 있기 때문에 상용 주파수의 전자파 유도에 의한 잡음원이 된다. 이외에 방송파 및 재복사원 또는 반사 장치로 되고 방송파의 질을 상당히 저하시킨다. 초고압 송전이 실용화되면 그 방해파는 더욱 크게 된다. |
| | 코로나 방전 | 도체 및 애자 인접면에서의 코로나 방전이 잡음의 원인이 되고 MF, HF 대에 영향을 준다. |
| | 불꽃방전 | 불량 애자등에서는 불꽃 방전이 생기고, 이 잡음은 MF 로 부터 VHF 대에 까지 미친다. |
| 수 송 | 자동차 | 내연기관의 플러그로 부터 발생하는 잡음은 펄스성이고 MF 부터 UHF 에 까지 미쳐, 각종의 이동통신계에 미치는 영향은 크다. 건설용에 이용되는 특수차량의 디젤 내연기관으로부터의 방사성 잡음도 꽤 높은 레벨이다. |
| | 항공기 | 헬리콥터등 저공을 비행할 때 내연기관의 플러그 영향은 크다. |
| | 전 차 | 가선과 집전기에 의한 납동접점에 의해 발생하는 잡음은 크고, 특히 분리될 때 일어날 코로나 방전은 전차 인접선에 방해를 주고 있다. 차세대의 교통기관으로써 부상되고 있는 자기 부상 방식의 전차가 실용화 되면 강대한 누설자계가 환경에 미치는 영향이 문제로 될 것이다. |
| 공 업 | 고주파 이용 설비 | 고주파 가열장치, 가공기로 부터의 누설전파는 강력하게 다른 시스템에 혼입되고 전자 시스템의 오동작의 큰 원인으로 된다. 전자레인지를 비롯하여 부터의 전자파 누설도 문제로 될 뿐만 아니라 부하 변동에 동반하는 주파수의 변화도 문제이다. |
| | 방전가공기 | wire cut 방전가공기, 아크용접기등 방전을 동반하는 가공기는 전자파 잡음 방지 대책이 충분하지 않아 문제로 남아 있다. |
| | 전동기 | 정류자 전동기의 납동접점으로부터 발생하는 전자파 잡음은 공장내에서는 로봇트 오동작에 하나의 원인이 되고 있다. 각종 전동기 응용제품으로부터도 많은 잡음이 나오고 있고 또 최근 이용되고 있는 교류 servo 제어용의 파형도 고조파를 많이 함유하고 있어 문제가 있다. |
| | 싸이리스타 제어 | 싸이리스타 및 트랜지스터를 이용한 제어장치에 있어서는, 제어파형이 정현파로 부터 크게 벗어나 찌그러진 파형으로 되고, 고조파를 많이 함유해 각종 기기와의 방해도 크다. |

| | | |
|----------------|----------------|---|
| 의료용 기 기 | 가온기기 | 디아테르미(전기투열 및 그 치료법) 등의 ISM 주파수를 이용한 가온 치료 기기로 부터의 누설 전파는, 동일 시설내에서 이용되고 있는 각종 진단 기기(뇌파계, 심전계등)에 간섭을 준다. |
| | 전기메스 | 전기메스로 부터의 방사전자파는 각종 계측기기, 전자계산기등의 디지털 기기의 오동작의 원인이 된다. |
| | NMRCT | NMR (핵자기공명)에 이용되는 강자장은, 자기 실험의 곤란함과 아울러 주의가 요구됨. |
| 통신 시스템 | 통신기기 | 통신기기는 전파를 이용하고 있지만 이 전파는 그 신호를 필요로 하지 않는 기기에 있어서는 방해로 되지만, 이것은 방히파 기기에서 대책을 강구하지 않으면 안될 원인으로서는 라디오, TV 의 송신기, radar 등이 있다. 최근에는 완구 무선 조종모형(자동차, 선박, 비행기, 로봇등)의 누설전파 및 기기의 오차도 문제로 되고 있다. |
| | 불요복사 | 송신기등이 완전히 동작하고 있지 않기 때문에 생기는 전자파 잡음으로써는 고조파, 주파수 진동등이 있지만 이들은 송신기에서 완전한 대책을 강구할 필요가 있다. |
| | 주파수 확산 통신방식 | 이용자 이외에는 노이즈로 된다. |
| 전자 기기 | 디지털 회로 | 전자계산기로 대표되는 디지털 기기에서는, 이용되는 파형이 직사각형 이기때문에 고조파 성분이 포함되어져 있고, 가까운 곳에 있는 회로에 방해파를 준다. 경우에 따라서는 이들 파형의 미분 파형이 다른 시스템으로 누설될 수도 있다. |
| | 임피던스 부정합 | 디지털 기기가 고속화 되는 것에 의해, 회로내의 임피던스 부정합은 다중 반사를 일으켜 노이즈로 된다. |
| | 국부발진 | 주파수 변환에 이용되는 국부 발진의 누설은 노이즈로 된다. |
| 정전기 방전 | | 정전기 방전은 직접방전과 간접방전이 있다. 방전 에너지의 대부분은 광, 음 등으로 되지만 임펄스적인 전류, 전자파가 전자기기에 큰 영향을 준다. 특히 겨울 같은 건조한 시기에 절연성이 높은 마루에서의 작업에 있어서는 충분히 주의를 기울일 필요가 있다. FET 등을 이용하는 전자기기의 조립 공전에서의 정전기대전 방지에 대해서는 특히 고려할 필요가 있다. |
| 핵펄스 | | 핵 폭발이 원인이 되는 전자 펄스에서는 10^5 v/m, 260A/m 정도의 강전자 계가 발생한다고 알려져 있고, 그 주파수는 LF, MF 를 중심으로 걸쳐 발생된다. |

< 노이즈의 분류 >

| | | |
|-----------|-------------------|--------------------|
| 주파수 영역 | 연속 스펙트럼 | 열 노이즈 플러그 |
| | 선 스펙트럼 | 방송파 고주파 이용설비 |
| 시간 영역 | 연속파 | 열 노이즈 방송파, 아크용접 |
| | 불규칙 이산파 주기성 | 궁전 플러그 |

제3장 측정이론 및 통계적 분석이론

1. 광대역 잡음의 측정 이론

광범위 잡음을 특성화하는 가장 기본적인 파라미터는 전력 스펙트럼 밀도이다. 이 파라미터는 CCIR 에 의해 국제적으로 널리 통용되고 있고 유효 안테나 잡음 계수 f_a 로 정의 된다. [13]

$$f_a = P_n / k T_{ob} \quad (8)$$

이때 P_n 을 유효 안테나 온도의 항으로 표시하면

$$P_n = k T_a$$

$$f_a = \frac{T_a}{T_o} \quad (9)$$

식(8) (9)에서 f_a 는 차원 없는 (dimensionless) factor 이므로 다음과 같이 정의 할수 있다.

$$F_a = 10 \log f_a \text{ [dB]} \quad (10)$$

이것은 단위 대역폭 당 잡음 전력이다.

그림9)의 수신 시스템을 참고하면 측정된 전력 P 는 다음과 같이 된다는 것을 알수 있다.

$$P = g(kbT_s + kbT_{in}) \quad (11)$$

g : 수신 시스템의 이득

T_s : 시스템 잡음 온도 [K]

T_{in} : 외래 입력 온도 [K]

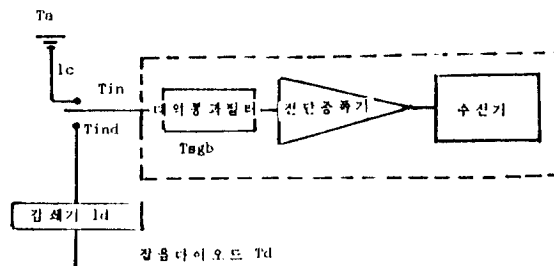


그림 10) 이론적 수신 시스템

$T_{in} \gg T_s$ 일 경우 식(11)의 첫번째 항은 무시되고 $T_{in} > OK$ 일때 수신 전력은 증가한다.

이 방정식은 P 와 T_{in} 사이에 선형적 관계를 나타내는데 그 관계식은 다음과 같다.

$$P = \alpha + \beta T_{in} \quad (12)$$

$$\alpha = gkbT_s, \beta = gkb$$

$$\text{그러므로 } T_s = \frac{\alpha}{\beta}$$

T_s 는 시스템 잡음 figure NF에 다음과 같이 관련되어 있다.

$$T_s = T_o (nf - 1) \quad (13)$$

$$NF = 10 \log nf$$

수신 시스템을 잡음 다이오드 T_d 로 부터 기지의 입력 온도 T_{ind} 에 대해 수신된 전력을 측정함으로써 교정될 수 있다.

잡음 다이오드는 15.5dB의 ENR (Excess Noise Ratio)를 갖는다.

이것은 다이오드 온도 T_d 와 다음과 같이 관련되어 있다.

$$enr = \frac{T_d}{T_o} - 1 \quad (14)$$

$$T_d = (enr + 1)T_o = 10,580k$$

$$\text{여기서 } ENR = 10 \log (enr)$$

입력 온도 T_{ind} 는 감쇄기 L_d (dB)에 의해 변화되고 T_{ind} 는 다음과 같이 주어진다.

$$T_d = \frac{T_d}{L_d} + (1 - \frac{1}{L_d}) T_o \quad (15)$$

$$\text{여기서 } L_d = 10 \log l_d$$

계산과정에서 p 와 T_{in} 사이의 관계를 알수 있고 T_{in} 은 측정값 P 로 부터 구할수 있다. 식12로부터

$$T_{in} = \frac{P - \alpha}{\beta} \quad (16)$$

안테나가 손실 L_c (dB)인 케이블로 연결되어 있다면 T_{in} 은 다음과 같이 주어진다.

$$T_{in} = \frac{T_a}{L_c} + (1 - \frac{1}{L_c}) T_o \quad (17)$$

Ta에 대해서 풀면

$$T_a = l_c T_{in} - (l_c - 1) T_o \quad (18)$$

여기서 $L_c = 10 \log l_c$

그러므로 식 16 과 18 을 이용하면 수신되는 각 잡음 전력 측정에 대해서 안테나 온도 T_a 값을 얻을 수 있다.

2. 잡음의 통계적 처리

통신 시스템 수행에 방해되는 가장 심각한 요인은 전자파 장애이다.

이 잡음을 측정하기 위해 일반적으로 이용가능한 RFI 전계강도 측정기를 이용하여 왔으나 이 측정기로 부터 얻은 침투치나 준침투치와 같은 파라미터 만으로는 광범위한 잡음의 통계적 처리에 부족함이 많다.

따라서 통계적 통신 이론 분석에 있어 실효치 전압, 평균 전압 그리고 평균 대수 전압 값의 측정이 권고 되어 왔으며 이들 세 파라미터가 통신 시스템 수행을 예측하기 위해 요구되는 잡음크기의 시간적 확률분포를 도출하는데 사용되어져 왔다. [14]

일반적으로 노이즈는 다소 강한 버스터 (burst) 에 이은 연속적인 낮은 레벨의 잡음으로 이루어져 있다. 만약 이러한 잡음의 현상에서 평균 전력을 측정하려 한다면 버스터에서의 에너지 뿐만 아니라 배경 잡음에서의 에너지를 정확하게 평균하는 것이 필요하다. 왜냐하면 이들 잡음 성분들은 잡음 전력의 중요한 부분을 포함하고 있기 때문이다. 이 잡음 현상을 나타내기 위한 유용한 방식이 잡음의 특성을 진폭 확률 분포로써 나타내는 것이다.

그림11)은 대기전파 잡음의 APD (Amplitude Probability Distribution) 를 그린 것이고 그림12)는 인공잡음의 APD 를 나타낸 것이다. 이 측정 그래프의 진폭 확률 분포는 잡음 크기의 시간적 확률 분포를 알기 위하여 포락선 전압의 실효값을 기준으로 하여 침투치, 준침투치, 평균치, 평균대수전압이 어떤 크기로 얼마만한 시간동안 나타나는가를 그래픽한 것이다.

그림11)은 10KHZ 대역폭을 가지고 5MHZ 에서 수신된 밤시간동안 대기잡음의 전형적인 APD를 보여준다. [15] 이그림상의 다이내믹 레인지는 거의 100dB 정도이다.

그림12)은 10KHZ 의 대역폭을 가지고 50MHZ 에서 수신된 인공잡음 (자동차 점화 시스템)에 대한 APD이다. 비록 다이내믹레인지는 그림10)의 ARN (Atmospheric Radio Noise) 의 다이내믹 레인지 보다 크진 않지만 86dB 정도이고 형태에 있어 아주 유사하다.

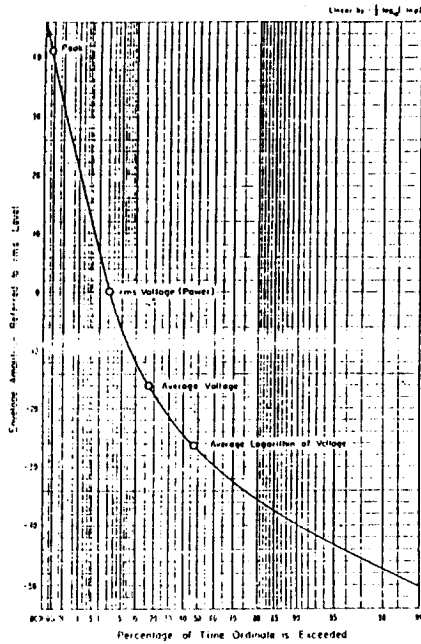


그림11) 대기 전파잡음의 APD (5MHZ,
대역폭 10KHz, Boulder,Color.
24M 여름)

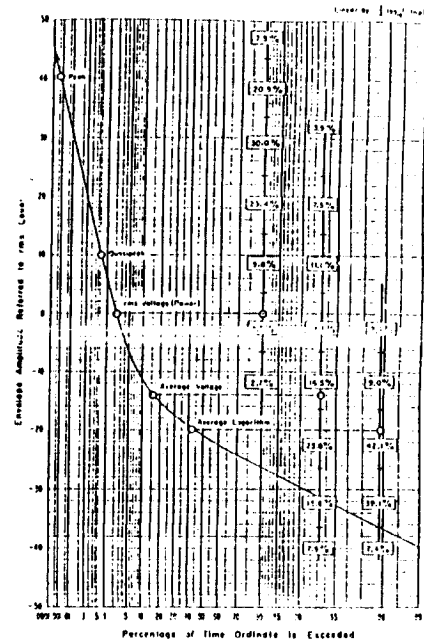


그림12) 인공잡음의 APD, 50MHz
대역폭 10KHz, San Antonio,
Tex. 15:15, 4,20,1968.

광대역 전자파 노이즈를 측정하는데 있어 측정 검파기로부터 유용한 정보를 얻기 위해서 정확한 다이내믹 레인지가 필요하다. 그림11)에서 퍼센테이지의 좌측열은 APD 그래프의 다이내믹 레인지 각 부분에서의 인공잡음 측정량을 나타낸다.

만약 측정 장비가 포화되어 APD의 다이내믹 레인지를 제한하게 되면 그만큼 전력값을 측정하지 못하게 되므로 정확한 데이터를 얻기위해선 측정 검파기의 다이내믹 레인지를 정확하게 조절해주는 것이 필요하다.

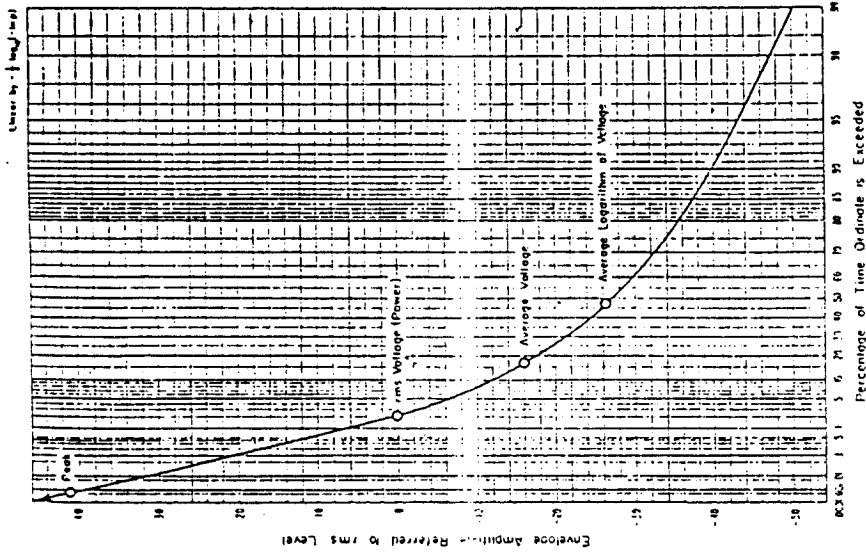


그림11) 대기 전파잡음의 APD (5MHZ,
대역폭 10KHz, Boulder,Color.
24M 여름)

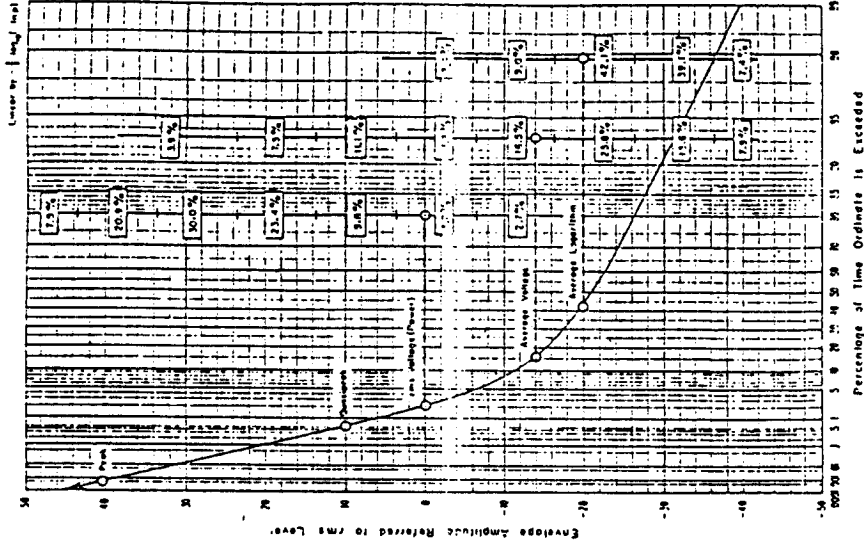


그림12) 인공잡음의 APD, 50MHZ
대역폭 10KHz, San Antonio,
Tex. 15:15, 4,20,1968.

제 4장 측정 및 분석

1. 측정 장비

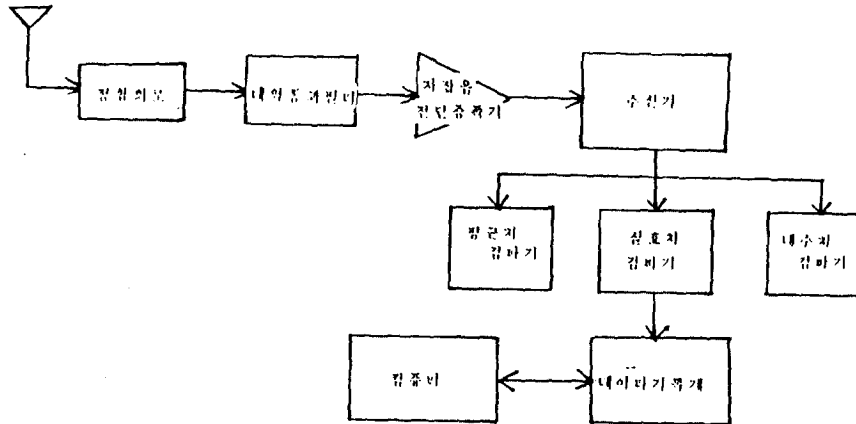


그림 13) 전파환경 측정 시스템 구조

앞에서 언급한 측정 파라미터들을 오차없이 정확하게 측정하기 위해서는 장비에 요구되는 특성이 있게 된다. 전자파 잡음을 측정하기 위한 측정 시스템은 그림 13)에서처럼 안테나, 대역통과 필터, 저잡음 전단증폭기, 수신기, 데이터 기록계 등이 있으며 측정 잡음의 분석을 위해서는 실효전압 변환기, A/D 컨버트 및 콘트롤러등이 필요하게 된다.

일반적으로 전자파 잡음 측정에 사용되는 안테나들은 여러가지 있으나 이들 안테나는 측정 주파수에 따라 나뉘어지게 된다.

20MHz 이하의 저잡음 영역에서는 루프 안테나 (Loop Ant. 100Hz - 20MHz), 20MHz에서 200 MHz 까지는 다이폴 안테나, 20MHz - 1GHz의 범위에서는 대수 주기 안테나 및, 전 방향성과 수직 패턴을 갖는 디스크 안테나 (disccone ant. 500~1000 MHz) 가 동조 다이폴 안테나의 좋은 정제파비 특성을 갖고 사용되기도 하며 이 이상의 주파수 범위에서는 일반적으로 혼 안테나 (Horn Ant. 200MHz - 20GHz) 를 사용하게 된다. [13]

증폭단 앞에 있게 되는 대역통과 필터는 수신 시스템의 스퓨리어스 신호발생 및 큰 신호의 입력에 의한 초기 증폭단의 포화를 방지하기 위한 것이고 저잡음 전단 증폭기는 입력되는 전자파 잡음이 수신기 자체 잡음보다도 미약하여 수신기가 이를 탐지하지 못하는 경우 입력되는 미약한 전자파 잡음을 증폭하는 역할을 한다.

측정에 사용되는 수신기는 충분한 사용 주파수 범위 및 수신감도를 가져야 하며 수신할 수 있는 신호로의 변환등이 고려되어야 한다.

한편 측정 데이터의 통계적 처리를 위해 실효치, 평균치 및 대수치 검파기를 수신기 뒷단에 붙여 각각의 값을 얻을수도 있다. 측정 자료는 데이터 기록계에 기록되어지고 데이터 기록계는 컴퓨터/컨트롤러에 의해 작동되어지며 전압 실효치 변환기로부터의 자료를 데이터 기록계에 기록하게 된다.

2. 도시 잡음 측정 및 분석

일반적으로 전파 잡음 측정은 CCIR 의 상업지역, 거주지역, 농촌지역에 대한 정의와 일치하는 측정장에서 하게 된다. 우선 CCIR 가 정의하는 지역 정의를 살펴보면 다음과 같다. [16]

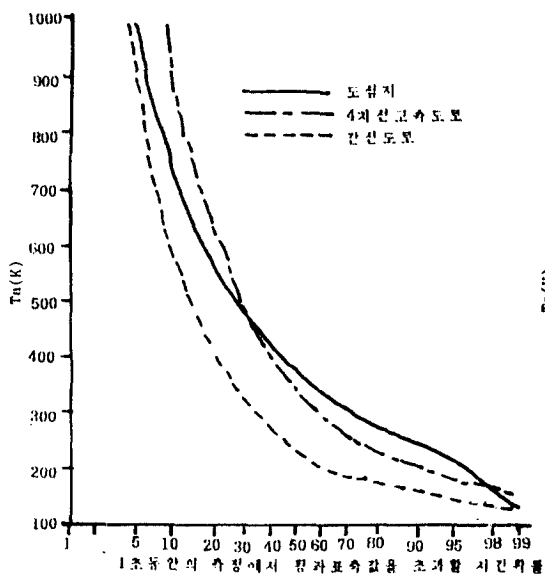
- 상업지역 : 전 구역을 통하여 지배적인 용도가 상업용 위해 사용되는 지역 (가게, 사무실, 산업지역, 쇼핑센터, 메인도로등, 많은 상업기업과 도심지를 통해 고속도로가 나있는 곳)
- 거주지역 : hectare 당 적어도 다섯 가구의 밀도를 갖고 거주하는 지역 그리고 크고 혼잡한 도로가 없어야 됨.
- 농촌지역 : 2 hectare 당 한 가구 이상 거주하지 않는 지역.

위의 측정장의 분류로 1983년 wilfred R. [17] 이 캐나다 오타와 지역에서 UHF 주파수에 인공잡음을 측정한 데이터를 가지고 잡음 발생원과 지역별 분포 상태를 살펴보면 다음과 같다.

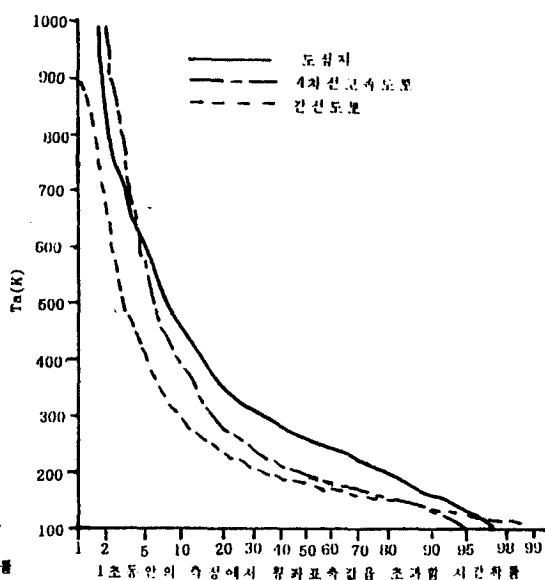
가. 상업지역에서 측정 데이터 분석 [17]

측정된 잡음 분포 상태는 그림 14,15에서 알수 있듯이 종좌표에 위치한 어떤 온도 값을 초과할 1초동안의 잡음-온도 측정값의 시간 퍼센테이지로 그려져 있다.

이 그림에는 도심지, 4차선 고속도로 그리고 주간선도로에서의 잡음 측정 측정 분포 상태가 나타나 있다. 이 분포도를 살펴보면 도심지에서 가장 높은 레벨 분포 상태를 보여주고 간선도로 측정장의 잡음 분포도가 가장 낮은 레벨의 분포 상태를 보여주고 있다.



14) 600MHZ에서 상업지역 잡음의 측정 분포도



15) 950MHZ에서 상업지역 잡음의 측정 분포도

나. 거주지역에서 측정 데이터 분석

그림16)의 분포도에서 알수 있듯이 상업지역 자료에서 본 것과 달리 임펄스 성분이 훨씬 적다. 그리고 이 임펄스 성분이 주파수가 높아짐에 따라 아주 빨리 떨어진다. 이 원인은 거주지역에서는 상업지역에 비해 자동차의 소음이 훨씬 적기 때문이라 본다. 600MHZ 분포 상태는 상업지역에서의 분포 상태와 비슷하나 1000K 에서 측정의 0.5% 정도 초과하는 낮은 레벨이다.

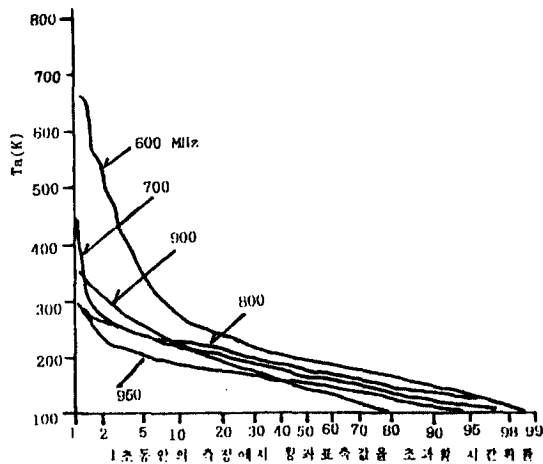


그림16) 거주지역에서의 측정된 분포도

제5장 맺음말

각종 전기전자 기기의 발달로 전자파 잡음이 통신 시스템등에 미치는 영향은 날로 심각해져 가고 있다. 이러한 전자파 환경 상태를 알수 있다면 통신 시스템 설계, 각종 장비에 대한 복사 허용치 규정 및 EMI 방지 대책을 수립하는데 많은 도움이 되리라 본다. 본 보고서는 전반적인 전자파 잡음의 발생원에 대해 알아보았고 특히 무선 통신 부분에 장애를 일으키는 인공잡음에 대한 지역별 전자파 분포상태에 대해 살펴 보았다.

지역별 잡음 분포 상태는 자동차, 전자기기 및 산업기기의 사용이 많은 상공업 지역에서 잡음 강도가 당연히 높은것을 알수 있었고, 다음으로 거주지역, 농촌지역으로 순서가 정해진다. 아주 조용한 농촌지역의 경우 10MHZ 이상의 주파수 범위에서 인공잡음보다 자연잡음 (특히 온하잡음)의 강도가 더 높게 나타난다. 도시 잡음의 경우 주파수 범위가 넓고 임펄스성 잡음이 많아 새로이 통신 시스템을 설계하는데 많은 문제점이 있다.

그리고 전자파 잡음을 측정하는 방식은 예전에 침두치나 준침두치의 측정으로 전력 레벨을 예측할 수 있었으나 현대 전자파 잡음의 스펙트럼 분포상태가 임펄스 성이고 광범위 함으로 인해 측정의 통계적 처리 방식이 요구된다 하겠다. 통상적 EMI 측정에는 정확하게 광대역 인공잡음을 측정할 수 있게끔 고안되어 있지 않다.

이러한 측정 시스템을 개조 유효 전압, 평균 전압, 평균 대수 전압 및 잡음의 통계적 분포 상태 즉 APD (Amplitude Probability Distribution) 을 동시에 측정함으로써 더욱 유용한 정보를 얻을 수 있게 된다.

따라서 앞으로는 통신 시스템에 장애가 되고 있는 잡음원을 정확하게 규명하여 무선 통신 시스템 구축 및 각종기기의 전자파 복사 허용치 규정을 위한 연구를 하여기본자료로서의 활용성을 높임과 동시에 측정 시스템 및 데이터 처리과정의 자동화에 관한 연구를 병행하여 측정 자료의 정확도를 높이고자 한다.

참 고 문 헌

1. H.T.Friis, "Noise Figures of Radio Receivers" Proceedings of the IRE, vol.32, pp. 419 - 422, 1944.
2. "World Distribution and Characteristics of Atmospheric Radio Noise," CCIR Report 322, 10th plenary Assembly, Geneva; 1963.
3. S.V.C. Aiya and B.S.Sonde, "Spring thunderstorm over Bangalore," Proc. IEEE, vol.51, pp. 1493 - 1501, November 1963.
4. M.Brook and N.kitagawa, "Radiation from lightning discharges in the range 400 to 1000 MC/S, "J.Geophys. Res.,vol. 69, pp2431-2434,June 15, 1964.
5. J.D.Kraus, "Radio Astronomy," Mc Graw-Hill Book Company, 1966.
6. R.F.Taylor and F.J.Stocklin, "VHF/UHF Stellar Calibration Error Analysis," Proceeding, International Telemetry Conference, Washington, D.C., vol VII pp. 553-566,September 27-29,1971.
7. Herman,J.R. "Progress in Radio Science," vol.1, p315, URSI (1970)
8. R.C.French, "Mobile Radio Data Transmission in the Urban Environment" IEEE International Conference on Communications vol 1 IEEE Catalog No.76 CH1085-0 CSCB pp. 27-15 to 27-20, philadelphia Pa.June 1976.
9. G.Anzic, "Radio Frequency Noise Measurements in Urban Areas at 480 and 950MHZ, NASA Technical Memorandum No. NASA TMX-1972," Lewis Research Centre,Cleveland 1972.
10. W.B.Garner and W.T.Bisignani, "Survey of Man-Made Electrical Noise Affecting Radio Broadcasting", NASA Technical Support Package for Tech. Brief 69-10308 by RCA Contract NASA-1476, Washington D.C., 1969.

11. Joint Technical Advisory Committee, Spectrum Engineering - The key to progress, IEEE, New York 1968.
12. Herman, J.R., Electromagnetic Ambients and Man - Made Noise, vol. 3, Multa - Volume EMC Encyclopedia Series, Don White Consultants, Gainesville, Va., 1979.
13. J.J.Nail, "Designing Discone Antennas", Electronics, pp167 to 169, August 1953.
14. R.J.Matheson, "Instrumentation Problems Encountered Making Man - Made Electromagnetic Noise Measurements for predicting Communications System Performance, "IEEE Trans. EMC, pp. 51-158, Number 1970.
15. "World Distribution and Characteristics of atmospheric radio noise," CCIR Rep. 322, 1964.
16. CCIR Report 258-4, "Man-Made Radio Noise", CCIR V Plenary Assembly, vol.6 pp177 to 183, Geneva, Switzerland 1982.
17. Wilfred R. Lauber and Jean M.Bertrand "Man Made Noise Level Measurements of the UHF Radio Environment" 1983.