

도시전철에서 발생한 전자파잡음의 측정 및 통계적 모형

Measurements and Statistical Modeling of Electromagnetic Noise from Electric Train

심 환 우* · 윤 현 보** · 백 락 준** · 우 종 우**

Woo Hwan Sim* · Hyun Bo Yoon** · Rack Jun Baek** · Jong Woo Woo**

요 약

본 논문은 도시전철에서 발생하는 전자파 잡음을 측정하여 확률통계적인 방법을 이용하여 모델링을 하였다. 도시전철의 전자파 잡음의 측정을 위하여 자동 측정시스템을 구축하였고, 9 kHz 에서 30 MHz 까지의 자기장, 30 MHz 에서 1,000 MHz 까지의 전기장을 측정하였다.

컴퓨터로 제어되는 측정시스템을 이용하여 국철과 지하철로 구분하여 각각의 진폭확률분포(APD: Amplitude Probability Distribution)를 측정하였다.

측정된 APD 곡선은 6 개의 변수로 표현한 Middleton 의 방법으로 해석하였다.

변수의 최적치를 빠른 시간내에 계산하기 위하여 합성 근사화 알고리즘을 사용하였다.

Abstract

In this paper, we have measured electromagnetic noises from electric trains and the measurement data are treated statistically for modeling.

In order to measure the noise of electric train, we set up an automatic measuring system and measured the magnetic field over 9 kHz-30 MHz range and electric field over 30 MHz-1,000 MHz range.

The computer controlled measuring system yields efficiently experimental APD (Amplitude Probability Distribution) data each of national rail road and subway train.

The measured APD curves are analysed in terms of sensitivity study of Middleton's model through 6-parameter variation.

Optimal parameters are obtained from measured data using Composite Approximation Algorithm.

I. 서 론

각종 전기 전자장치 및 시스템의 사용증가로 인하여 발생하는 전자파 환경의 오염 (EM pollution) 및 전자파 장애 (EM interference) 문제는 인간 생활

에 편리한 무선통신에 역기능적인 문제로 그 심각성이 증대되고 있다.

특히, 고전압, 대전력을 사용하는 전철, 지하철 및 고속 전기철도와 같은 시스템이 정보통신 선로 및 기기, 사무자동화 장비 등이 밀집되어 있는 도심 지

* 한국전자통신연구소 (ETRI)

** 동국대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Eng., Dongguk University)

역을 통과할 때 발생할 수 있는 EMI 문제에 대해서는 그 원인과 영향에 대한 연구가 엄격하게 이루어져야 할 필요가 있다.

현재까지의 국내외 연구결과, 전기 철도에서의 EMI 문제는 두가지 측면에서 다루어지고 있는데, 첫째는 고전압, 대전력을 사용하는 전력선 잡음문제와 동일한 EMI 현상에 대한 문제로 주로 60 Hz 극저주파수(ELF)에서의 자기장 발생에 의한 인체에의 위해성 문제와 고전압 선로에서의 코로나(corona) 방전에 의한 고주파 잡음의 복사 문제이며, 두 번째는 trolley pantograph 에서의 아크(arc) 방전에 의한 임펄스성 고주파잡음의 복사 문제이다. [1, 2]

여기서 발생하는 전자파 잡음은 아날로그 및 디지털 통신용으로 사용되는 전 주파수 대역에 장애를 줄 수 있는 잠재성을 가지고 있다.

또한 여기서 발생하는 전자파의 세기가 의도성 통신 신호 레벨보다는 낮을지라도 전 주파수 대역에 걸쳐 주변잡음(ambient noise) 레벨을 증가시키기 때문에 신호대 잡음(S/N) 비를 악화시키며, 미약 통신신호에 대해서는 직접적인 장애를 유발시킬 수 있고, 주변 전화 선로 등에 결합하여 통화 품질을 저하시킴으로써, 결국에는 의도성 통신 신호 레벨을 증가시켜야하는 문제가 발생하게 된다.

따라서 도시전철에서의 전자파 잡음의 발생을 억제하고 대책을 수립하기 위한 기초 연구으로써 현재 국내에 건설되어 있는 지하철 및 전철에서의 전자파 잡음 현황을 조사하기 위하여 측정을 위한 효율적인 측정시스템의 구성과 지하철 및 전철에서 발생하는 전자파잡음의 현장측정을 수행하고, 측정된 자료를 이용하여 APD (Amplitude Probability Distribution) 로 처리하여 표현하였다.

도시전철에서 발생하는 전자파 잡음은 B 급 잡음으로 분류되며, Middleton 이 제시한 6 개의 변수를 이용한 확률 통계방법을 이용하여 잡음을 모델링하였다.

II. 전자파 잡음 자동 측정 시스템 구현

2-1. 측정시스템의 구성

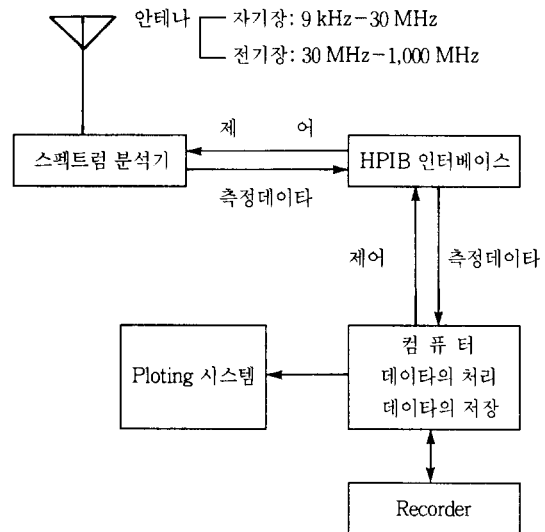
자유공간에 존재하는 전자파의 측정은 매우 어려운 일로써 시스템에서의 정확한 factor 보정과 사용상의 세밀한 주의가 필요하다.

특히 전자파 잡음의 측정을 위해서는 측정 시스템의 감도가 중요한 변수로 작용하게 된다.

그리고 수신을 위한 안테나의 성능도 측정 시스템의 감도에 알맞은 안테나를 선택하여야 한다.

본 연구에서 사용한 전자파잡음 측정 시스템의 구성을 [그림 1]에 나타내었다.

스펙트럼 분석기와 컴퓨터와의 인터페이스는 GPIB 를 사용하여 컴퓨터에서 스펙트럼 분석기를 제어하고 측정 데이터의 처리 및 저장을 하도록 구성하였다.[3]



[그림 1] 전자파 잡음측정시스템의 구성도

2-2 측정시스템의 자동화

효율적이고 안정된 측정을 위해서는 측정시스템의 자동화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 측정 장비와 컴퓨터를 GPIB 인터페이스를 이용하여 컴퓨터에 의한 측정장비의 제어와 실시간 데이터처리

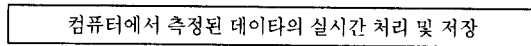
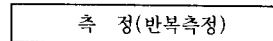
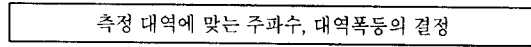
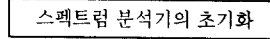
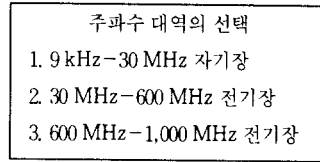
를 함으로서 효율적인 측정이 가능하게 하였다.

[그림 2]에는 측정시스템의 자동화에 따른 순서도를 나타내었다.

Ⅲ. 도시전철의 전자파 잡음 측정

3-1. 측 정

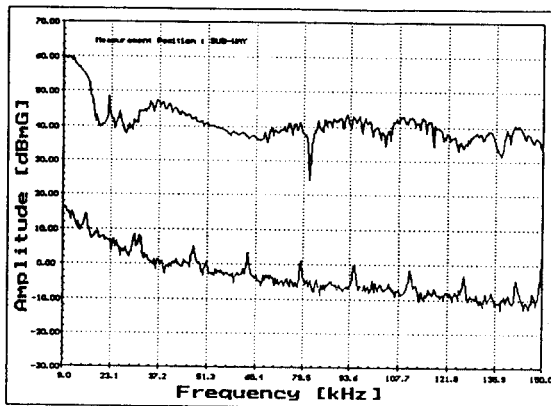
도시전철의 전자파 잡음에 대한 측정을 지하철과 전철의 경우를 비교하였다. 도시전철의 전자파 잡음을 측정하기 위하여 지하철과 전철의 구간에서 [그림 1]에 도시된 측정시스템을 사용하여 측정하였다. 각각의 측정데이터는 100 회의 반복측정을 하여 주파수별 최대, 최소, 평균값을 나타내게 하였다. 측정 장소 및 주파수 대역은 <표 1>와 같으며, 측정된 데이터를 [그림 3, 4, 5]와 [그림 6]에 각각 보였다.



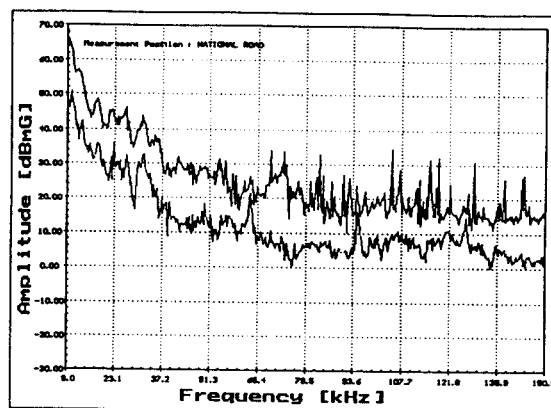
[그림 2] 측정시스템의 자동화에 따른 순서도

<표 1> 지하철 및 전철의 측정 주파수 대역

측 정 구 분	주 파 수 대 역	측 정 장 소
지 하 철	9 kHz-30 MHz (자기장)	동대입구역 (3 호선)
	30 MHz-1,000 MHz (전기장)	
전 철	9 kHz-30 MHz (자기장)	중동역과 부천역사이 (국철구간)
	30 MHz-1,000 MHz (전기장)	

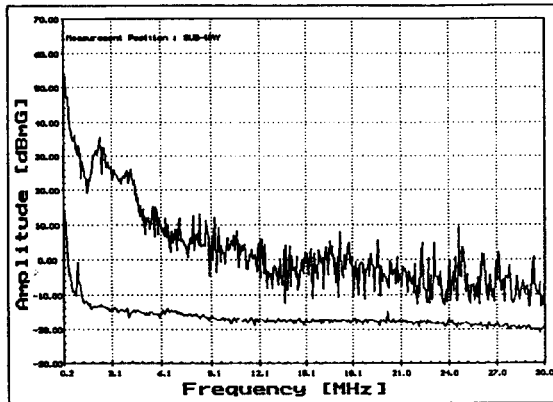


(a) 지하철

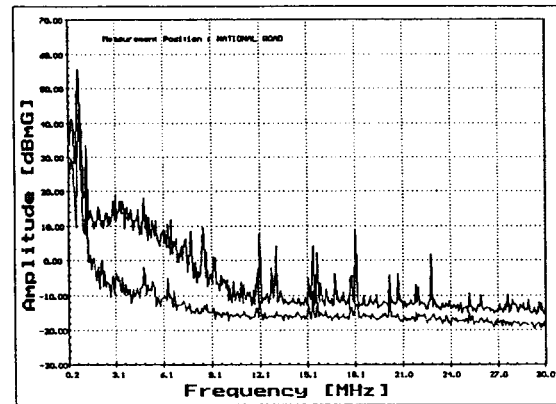


(b) 전철

[그림 3] 지하철과 전철의 자기장 측정 (9 kHz-150 kHz)

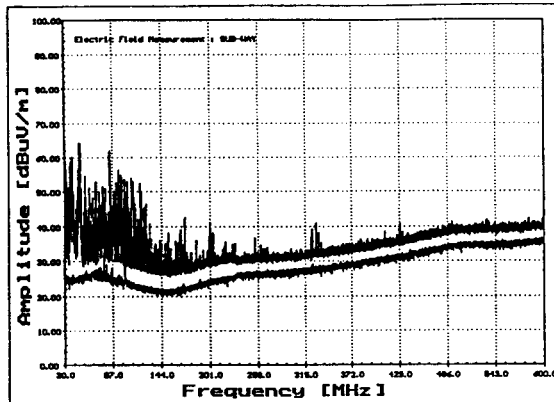


(a) 지하철

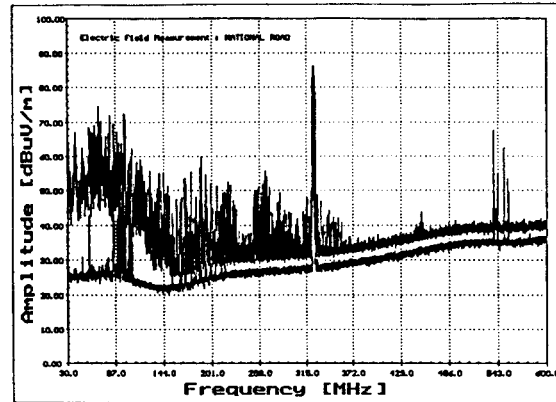


(b) 전철

[그림 4] 지하철과 전철의 자기장 측정 (150 kHz-30 MHz)

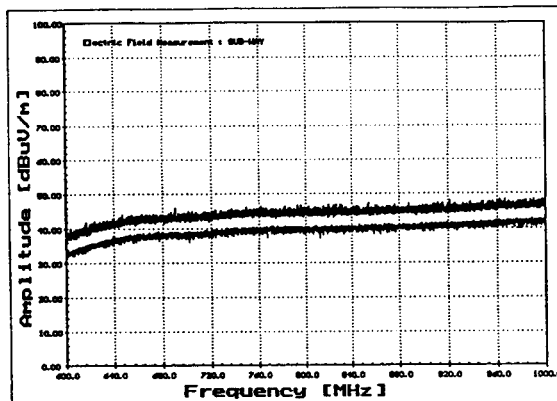


(a) 지하철

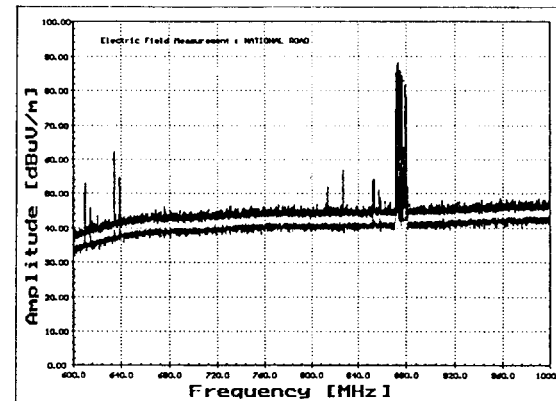


(b) 전철

[그림 5] 지하철과 전철의 전기장 측정 (30 MHz - 600 MHz)



(a) 지하철



(b) 전철

[그림 6] 지하철과 전철의 전기장 측정 (600 MHz-1,000 MHz)

IV. 측정 데이터의 확률처리

전기, 전자기기 및 교통기관 등의 발달에 따라 다양한 형태의 인공잡음이 발생되고 있으며, 특히 광대역 주파수대역을 점유하며 큰 진폭 특성을 갖고 빈번하게 발생하는 임펄스성 잡음의 증가가 무선통신에 중요한 문제가 되고 있다.

대표적인 임펄스성 인공잡음은 자동차의 점화계통과 고압시설 등에서 발생되고 있으며, 이 잡음은 아날로그 시스템에서 점차적으로 디지털 시스템으로 전환되어가는 통신 시스템에 막대한 성능 저하를 유발시킬 수 있다.

또한, 디지털 신호에 대한 임펄스성 잡음의 영향은 다중경로 페이딩과 결합하여 중대한 비트 에러를 유발시켜 통화의 품질을 악화시키기도 한다.

통신 시스템의 설계와 성능 평가를 위해서는 이러한 임펄스성 잡음의 발생률이나 진폭률의 특성을 파악할 필요가 있으나, 임펄스성 잡음이 불규칙한 랜덤잡음 특성을 나타내기 때문에 통계확률에 의한 특성 파악이 요구된다.

임펄스성 잡음의 모형은 Spaulding[4], Nakai[5, 6, 7, 8] 등에 의해 확률적으로 모형화되었다.

Sheikh[9] 는 배경잡음과 임펄스성 잡음의 상관관계로써 잡음발생 확률을 구하므로써, 모형이 간소하고 유도가 용이한 방법을 사용하였으나, 변수가 하나이기 때문에 정확한 APD 곡선을 얻기 어려웠다.

그후 보다 정확한 통계확률적 분석방법은 Middleton[10, 11] 에 의해 확립되었다. Middleton 은 잡음의 점유 대역폭과 수신기 수신 대역폭 사이의 관계에서 잡음의 종류를 A 급, B 급, C 급으로 분류하여, 각각의 잡음진폭확률분포 곡선을 통계-물리적인 이론에 의거한 해석적 방법을 통해 A 급 잡음은 3 개의 변수로 표현되고, B 급 잡음은 6 개의 변수로 표현되는 모형을 제시하였다.

A 급 잡음은 수신기의 수신 대역폭보다 좁은 주파수 특성을 갖는 잡음으로 의도성 통신 신호가 다

른 통신에 미치는 영향을 평가하기 위해 의도성 신호의 잡음 모형으로 이용되고 있다.

B 급 잡음은 임펄스성 잡음의 확률분포를 표현하는데 적절한 것으로 자동차 점화잡음에 대한 확률모형화에 많이 응용되어 왔으나, 측정된 데이터와 가장 근사적인 변수를 추출하는데 많은 시간이 소요되는 어려움이 있었다.

본 연구에서는 빠른시간에 Middleton 모형의 최적 변수를 추출할 수 있는 방법을 연구하여, 측정된 데이터에 적용하여 보다 빠른 시간에 변수들을 추출함으로써, 대량의 측정 데이터를 저장하여야하는 전자과 잡음의 저장 용량을 크게 감소시킬 수 있다.

4-1. 잡음의 통계적 모형

전자과 잡음은 협대역 수신기 (narrow-band receiver) 에 대하여 다음과 같이 3 가지 (A 급, B 급, C 급 잡음) 특성으로 분류된다.

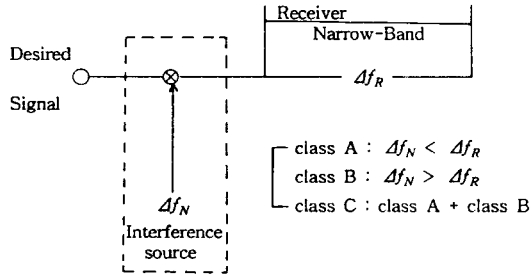
i) A 급 잡음: 복사성 잡음의 주파수 성분들이 수신기의 가장 좁은 대역보다 좁은 스펙트럼폭을 갖는다. 즉, 수신기내에서는 잡음 신호에 의한 중요한 과도 임펄스가 발생하지 않는다.

ii) B 급 잡음: 복사성 잡음의 주파수 성분들이 수신기의 대역폭보다 넓은 스펙트럼의 범위로 연장되며, 임펄스 여기와 분명한 지수적 신호 생성, 신호감쇠, 감쇠진동 등이 B 급에 해당한다.

iii) C 급 잡음: 위의 A 급 잡음과 B 급 잡음을 합한 것이다.

잡음은 [그림 7]과 같이 선형 수신기를 통해 수신된 잡음 신호의 변화로 의해서 생성된 잡음 포락선의 모양에 따라 특징지우고 있다.

가우스성 확률분포를 갖는 단일 잡음원이 존재할때 시험값 E 가 기준값 E_0 보다 클 확률분포함수 (Probability Distribution Function: PDF) $P_1(E > E_0)_{A,B}$



[그림 7] 협대역 수신기에 대한 잡음의 분류

는

$$P_1(E > E_0)_{A,B} = 1 - E_0 \int_0^\infty J_1(rE_0) \hat{F}_1(ir) dr \quad (1)$$

와 같다.

여기서 J_1 은 Bessel 함수이고, i 는 단위 벡터, r 은 특성함수의 반경벡터이며, \hat{F} 은 특성함수로서 A 급, B 급 잡음 각각에 대해서 다음과 같다.

$$\hat{F}_1(ir)_{A+G} \doteq e^{-A \cdot A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_{x,A}^m}{m!} \exp \left[- \left\{ \frac{m(\hat{B}_{0A}^2)}{2} + \sigma_G^2 \right\} \frac{r^2}{2} \cdot \{1+0(r^4)\} \right] \quad (2)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-I} \doteq \exp \left[-b_1 a A_{x,B} r^a - \Delta \sigma_G^2 \frac{r^2}{2} \right] \quad (3)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-II} \doteq e^{-A_{x,B}} \exp \left[A_{x,B} e^{-b_2 a r^{2/2}} - \sigma_G^2 \frac{r^2}{2} \right] \cdot \{1+0(r^4)\} \quad (4)$$

여기서, 첨자 G와 A, B는 각각 가우스 잡음 성분과 A 및 B 급 잡음을 나타내며, I, II는 B 급 잡음에서의 영역분류를 나타낸다.

또한 $A_{x,A}$, $A_{x,B}$ 는 각각 A, B 급 잡음에 대한 임펄스 지수를 나타내며, \hat{B}_{0A} , \hat{B}_{0B} 는 각각 A, B 급 잡음에 대한 잡음 포락선의 형태를 나타낸다.

σ_G^2 은 가우스 잡음의 편차를 나타내며, $0(\)$ 는 오차함수, b_a 는 하중 모멘트, a 는 공간밀도 전달변수를 나타낸다.

식 (2)~(4) 를 정규화하기 위하여

$$a_{A \text{ or } B} = \{2\Omega_2(1+\Gamma')\}^{-1/2} \quad (5a)$$

여기서, Ω_2 를 비가우스성 성분의 평균밀도로 정의하고

$$\varepsilon = aE, \varepsilon_0 = aE_0 \quad (5b)$$

으로 정의하면, 식 (2), (3), (4) 에서 $r = a\lambda$ 가 되며, 여기서 λ 는 특성함수에서 잡음영역을 나타내는 독립변수가 된다.

따라서 A 급, B 급 잡음에 대한 일반화된 진폭확률분포함수는 식(6)과 같이 된다.

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_{A,B} = 1 - \varepsilon_0 \int_0^\infty J_1(\lambda \varepsilon_0) \hat{F}(i\lambda)_{A,B} d\lambda \quad (6)$$

4-1-1. A 급 잡음 통계

A 급 잡음에 대한 특성함수 식 (2)를 식 (5)에 의해 정규화하면, 다음의 근사화식을 얻을 수 있다.

$$\hat{F}_1(ir)_A \doteq e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} \exp \left[-\hat{\sigma}_{mA}^2 a^2 \frac{\lambda^2}{2} \right] \quad (7)$$

여기서 $2\hat{\sigma}_{mA}^2 = \left(\frac{m}{A_A} + \Gamma'_A\right) / (1+\Gamma'_A)$ 이며, A_A , Γ'_A 는 각각 임펄스지수, 가우스-임펄스 비를 나타낸다.

식 (6)과 (7)에 Confluent Hypergeometric 함수, $F_1(1,2,-x) = \frac{1-e^{-x}}{x}$ 를 사용하여 적분하면 진폭확률분포함수 $P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_A$ 는

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_A = 1 - e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} \frac{\varepsilon_0^2}{2\hat{\sigma}_{mA}^2} \cdot {}_1F_1 \left[1, 2, \frac{\varepsilon_0^2}{2\hat{\sigma}_{mA}^2} \right] \\ = e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} \exp \left[-\varepsilon_0^2 / (2\hat{\sigma}_{mA}^2) \right] \quad (8)$$

으로 된다.

4-1-2. B 급 잡음 통계

B 급 잡음은 두개의 영역 I과 II로 분류되며, 각 영역의 특성함수는 식 (3)과 식 (4)와 같으며, 이 식들에서 $A_{x,B}$ 를 유한기간 동안의 임펄스지수 A_B 로 근사화시킨 후 정규화하면

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-I} \doteq \exp[-b_1 \alpha A_B a^\alpha - \Delta \sigma_G^2 a^2 \frac{\lambda^2}{2}] \quad (9)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-II} \doteq e^{-A_\alpha} \exp[A_B e^{-b_2 \alpha a^2 \frac{\lambda^2}{2}} - \sigma_G^2 a^2 \frac{\lambda^2}{2}] \quad (10)$$

이 얻어진다.

이들 특성함수들을 식 (1)에 대입함으로써 B 급 잡음의 영역 I 과 영역 II에 대한 확률분포함수 $P_1(\epsilon > \epsilon_0)_B$ 를 얻을 수 있다.

$$P_1(\epsilon > \epsilon_0)_B = 1 - \hat{\epsilon}_0^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n A_\alpha^n}{n!} \cdot \Gamma(1 + \frac{\alpha n}{2}) {}_1F_1(1 + \frac{\alpha n}{2}, 2, -\hat{\epsilon}_0^2) \quad (11)$$

여기서 $\hat{\epsilon} \equiv \epsilon_0 \frac{N_i}{2G_B}$, $\hat{A}_\alpha \equiv \frac{A_\alpha G_B^\alpha}{2^\alpha}$ 이며, N_i 는 Scale Factor, G_B 는 잡음원의 파형을 나타낸다.

앞식에 나타난 Confluent Hypergeometric 함수 (${}_1F_1$)를 B 급 잡음에 적용할 때는 수렴급수에 의해 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$${}_1F_1(\alpha, \beta, -x) \doteq \frac{\Gamma(\beta)}{\Gamma(\beta-\alpha)} x^{-\alpha} \cdot [1 + \frac{\alpha(\alpha-\beta+1)}{x} + \frac{\alpha(\alpha+1)(\alpha-\beta+1)(\alpha-\beta+2)}{2!x^2} \dots] \text{ for } \epsilon_0^2 \gg 1 \quad (12)$$

식 (12)를 식 (11)에 대입함으로써 영역 I에서 $\epsilon_0 > \epsilon_B$ 경우에 대한 확률분포함수 $\hat{P}_1(\hat{\epsilon} > \hat{\epsilon}_0)_{B-I}$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{P}_1(\hat{\epsilon} > \hat{\epsilon}_0)_{B-I} \doteq \sum_{n=0}^{\infty} 1 \cdot \frac{\hat{A}_\alpha (-1)^n A_\alpha^n}{n!} \frac{\Gamma(1 + \frac{\alpha}{2})}{\Gamma(1 - \frac{\alpha n}{2})} \cdot \hat{\epsilon}_0^{-\alpha} [1 + \frac{1 + (\alpha n/2)(\alpha n)}{2\hat{\epsilon}_0^2} + \dots] \text{ for } \epsilon_0^2 \gg 1 \quad (13)$$

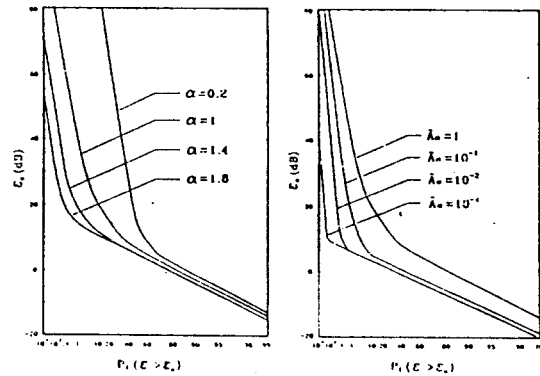
여기서 \hat{A}_α 는 실효임펄스성 지수이다.

또한, 영역 II에 대해서는 식 (6)에 식 (10)을 대입함으로써 $\epsilon_0 > \epsilon_B$ 경우에 대한 확률분포함수 $P_1(\hat{\epsilon} > \hat{\epsilon}_0)_{B-II}$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{P}(\hat{\epsilon} > \hat{\epsilon}_0)_{B-II} \doteq \frac{e^{-A_\alpha}}{4G_B^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\hat{A}_B^m}{m!} \exp[-\frac{\hat{\epsilon}_0^2 \hat{\sigma}_{mB}^2}{2}] \text{ for } \epsilon_0 > \epsilon_B \quad (14)$$

여기서 $\hat{\sigma}_{mB}$ 는 B 급 잡음에서 가우스 성분의 편차이다.

식 (13)와 (14)을 이용하여 실효임펄스성 지수 A_α 와 발생원 밀도 α 를 변화시키면서 B 급 잡음에 대한 APD 곡선이 변화하는 상태를 [그림 8]에 나타내었다.



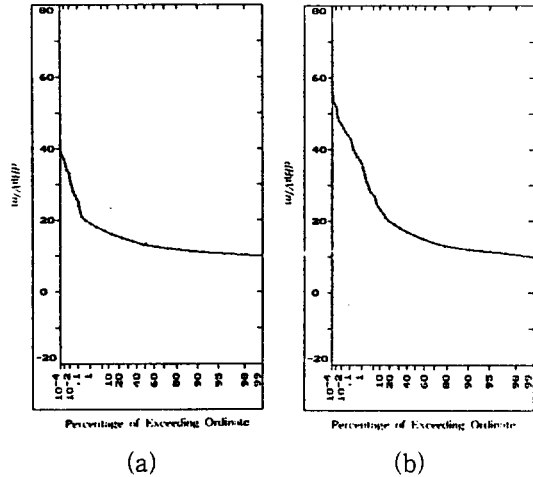
[그림 8] (a) B 급 잡음에 대한 (b) B 급 잡음에 대한 확률분포 ($\alpha = 0.1$ 일 경우) 확률분포 ($\hat{A}_\alpha = 1.0$ 일 경우)

4-2. 진폭확률곡선의 측정

도시전철의 전자파 잡음을 APD 곡선화하기 위하여 지하철과 전철의 구간에서 도시전철의 전자파 잡음 확률분포를 구하기 위하여 [그림 1]의 측정시스템을 사용하였다.

측정 주파수는 잡음발생빈도가 높은 87 MHz에서 수행하였으며, 측정장소는 각각 동대입구역 승강장 (3호선, 지하철) 과 중동역과 부천역사이 (국철)의 선로에 인접된 지역에서 수행하였다. [그림 9]에는 지하철과 전철에서 10^6 번 측정하여 얻은 데이터로 APD 곡선을 도시하였다.

[그림 9]에는 도시전철이 통과시 발생하는 전자파 잡음을 주파수 87 MHz에서 10^6 번 측정하여 얻은 데이터를 APD 곡선으로 나타내었다.



[그림 9] (a) 지하철의 APD 곡선, (b) 전철의 APD 곡선

[그림 9]에서 알 수 있듯이 도시전철의 전자파잡음의 APD 곡선의 특성은 전형적인 B 급 잡음의 특성을 가지고 있으며, DC 를 사용하는 지하철보다는 AC 를 사용하는 전철이 보다 높은 레벨의 잡음이 발생할 확률이 높음을 알 수 있다.

4-3. 도시전철의 전자파잡음의 통계적 모형

4-3-1. 잡음모형의 변수 추출

B 급 잡음의 확률분포함수는 [그림 10]와 같이 영역 I ($\epsilon_B \geq \epsilon_0$)과 영역 II ($\epsilon_B \leq \epsilon_0$)는 굴곡점 ϵ_B 를 중심으로 구분된다.

영역 I과 영역 II에 대한 근사화 확률분포함수 P_{I-I} 과 P_{I-II} 는 식 (3), (15)와 식 (16)으로부터 각각 얻을 수 있다.

영역 I에서는

- i) 실효임펄스지수 (\hat{A}_α): 영역 II의 임펄스지수에 비례하며, 공간 밀도전달변수에 따라 변화한다.
- ii) 공간밀도전달변수 (α): 잡음발생원의 밀도분포에 따라 변화하며, $0 < \alpha < 2$ 범위의 값을 갖게된다. 영역 I과 영역 II에서 공통이다.
- iii) Scale factor (N_i): 영역 I과 영역 II를 합성

할 때 평탄하게 연결해 주기 위한 인자이다.

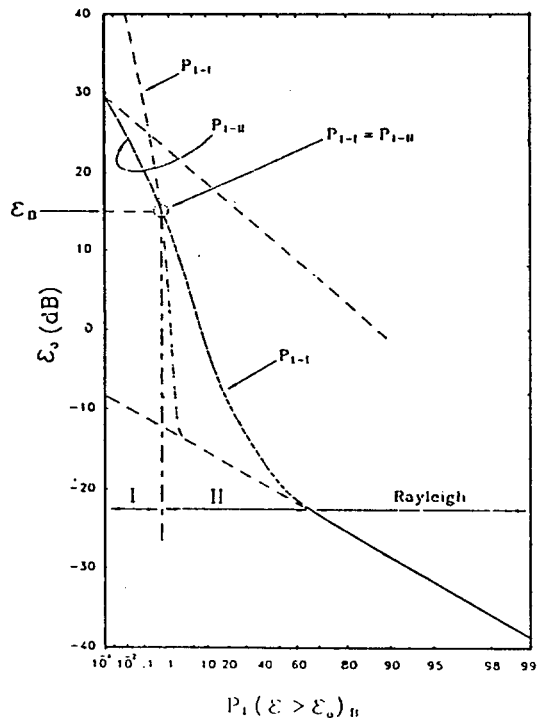
영역 II에서는

- i) 가우스-임펄스비 (Γ_B): 임펄스성분에 대한 가우스성분의 비율을 나타낸다.

$$(\Gamma_B \equiv \frac{\sigma_c^2}{\Omega_{2A}})$$

- ii) 굴곡점 (ϵ_B): 영역 I과 영역 II의 굴곡점을 나타내는 변수이다.
- iii) 임펄스지수 (A_B): 잡음원에서 발생하는 임펄스의 평균수를 정의한다.

이상의 것이 B 급 임펄스성 잡음을 나타내는 주요 변수가 된다.



[그림 10] B 급 잡음에 대한 변수

[그림 10]에서 영역 I과 영역 II가 만나는 굴곡점에서의 관계식은 식 (15~18)과 같다.

- i) Rayeig 영역에서 $P_{I-I} = P_{I-II}$ 이며,

$$\frac{1}{4} G_B^2 \left[1 + \epsilon_0^2 N_i^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \left(\frac{A_\alpha}{2^2 G_B^2} \right)^n \Gamma \left(1 + \frac{1}{2} n \alpha \right) \right] = 1 + \frac{\epsilon_0^2}{4 G_B^2} e^{-A_B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} (2 \sigma_{mB}^2)^{-1} \quad (15)$$

ii) P_{I-I} 와 P_{I-II} 는 Rayleigh 영역에서 같은 진폭 특성을 나타내므로, 각각의 제 1 차 도함수는 같다($dP_{I-I}/d\epsilon_0 = P_{I-II}/d\epsilon_0$).

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \left(\frac{A_\alpha}{2^\alpha G_B^2}\right)^n \Gamma\left(1 + \frac{1}{2}n\alpha\right) = e^{-A_B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} (2\sigma_{mB}^2)^{-1} \quad (16)$$

iii) 두 근사화의 굴곡점에서 $P_{I-I} = P_{I-II}$ 이고, 이 굴곡점 ϵ_B 는 실험으로 얻은 APD 곡선으로부터 결정한다.

$$\frac{A_\alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{2}\alpha\right)}{2^\alpha G_B^2 \left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right)} \left(\frac{\epsilon_B N_i}{2G_B}\right)^{-\alpha} [1 + O(\epsilon_B N_i)] = \frac{1}{4G_B^2} e^{-A_B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} \exp\left(-\frac{\epsilon_B^2}{2\sigma_{mB}^2}\right) \quad (17)$$

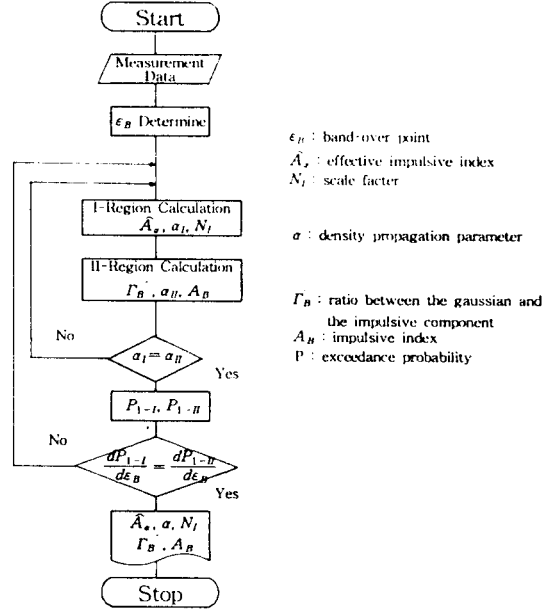
iv) 또한 굴곡점 ϵ_B 에서 P_{I-I} 와 P_{I-II} 의 도함수는 같다($[dP_{I-I}/d\epsilon = dP_{I-II}/d\epsilon]_{\epsilon = \epsilon_0}$).

$$\frac{\alpha A_\alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{2}\alpha\right)}{2^{\alpha-1} G_B^{\alpha-1} \Gamma\left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right)} \left(-\frac{\epsilon_B N}{2G_B}\right)^{-\alpha} [1 + O(\epsilon_B N_i)] = \frac{\epsilon_B}{4G_B^2} e^{-A_B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} \exp\left(-\frac{\epsilon_B^2}{2\sigma_{mB}^2}\right) \quad (18)$$

측정결과로 얻은 APD 곡선에서 지하철과 전철의 굴곡점이 변화함을 알 수 있다. 따라서 Rayleigh 영역과 굴곡점에 대하여 다음 수식을 사용하여 합성근사화를 수행함으로써 APD 곡선을 얻을 수 있다.

측정된 APD 곡선으로부터 잡음 모형의 변수를 찾아내는 알고리즘을 [그림 11]에 그 흐름도를 보였으며, 이때 흐름도에서 굴곡점 (ϵ_B)을 찾아내는 것이 중요하며, 설정된 굴곡점이 P_{I-I} , P_{I-II} 두 부분과 일치할 경우 루프를 빠져나오게 된다.

[그림 11]의 합성근사화 알고리즘을 사용하여, 도시전철에서 지하철과 전철에 따른 P_{I-I} , P_{I-II} 각각에 대한 변수를 구한 변수를 <표 2>에 보였다.



[그림 11] 합성근사화 흐름도

<표 2> 합성근사화로 얻은 모형 변수

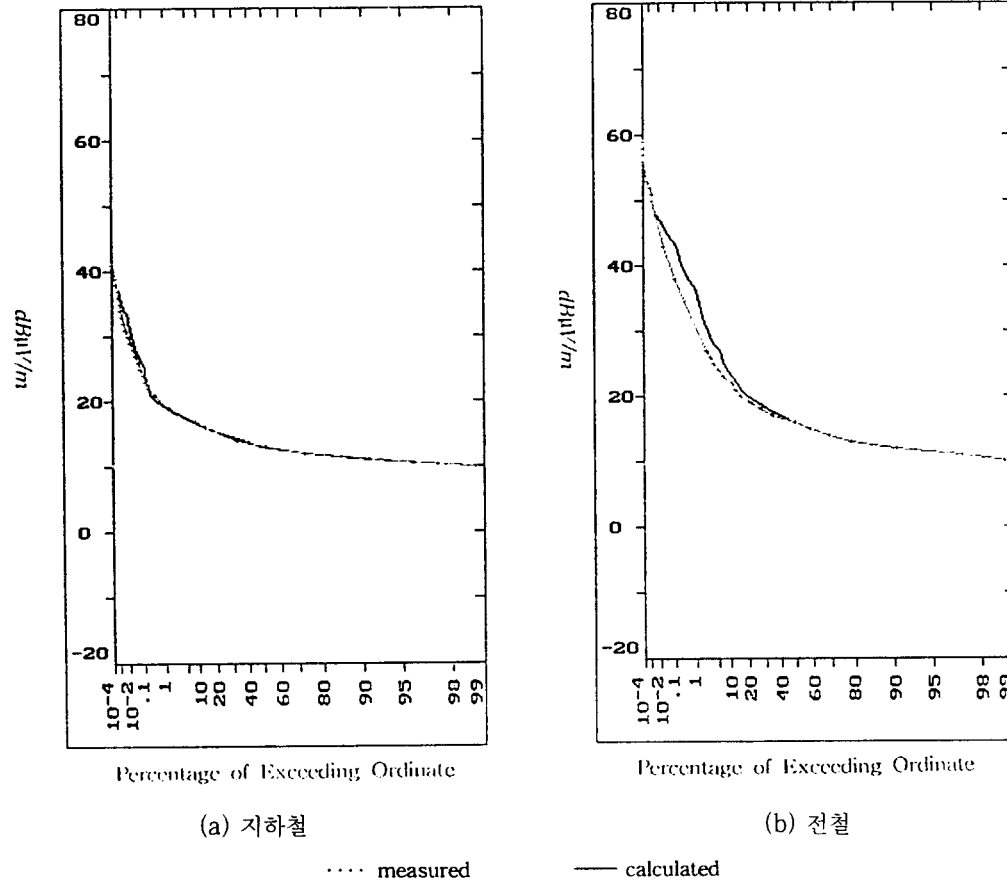
파라미터	기호	지하철(87 MHz)	전철(87 MHz)
공간밀도전달 변수	α	1.19	1.21
실효 임펄스 지수	\hat{A}_α	0.011	0.012
임펄스 지수	A_B	4×10^{-5}	3×10^{-5}
가우스-임펄스비	Γ_B	7.5	8.1
영역 I, II 교차점	ϵ_B	32.6dB	48 dB
Scale Factor	N_i	6.4dB	6.1dB

4-3-2. 잡음모형과 실측결과의 비교

합성근사화로 최적 추출된 변수를 사용하여 시뮬레이션한 APO 곡선과 실측곡선을 [그림 12] (a)와 (b)에서 비교하였다. 각 그림에서 측정치는 점으로 나타내었으며, 시뮬레이션 값은 실선으로 나타내었다.

전자과 잡음의 확률분포함수의 변수추출방법은 B 급 잡음인 경우 10^6 개의 측정치를 모두 저장하지 않고도 원래의 곡선을 6개의 변수만으로 복원이 가능하기 때문에 측정 데이터의 양을 줄일 수 있다.

또한 측정 시스템을 자동화함으로써 측정값을 실



[그림 12] 확률분포 곡선(주파수 87 MHz)

시간(real time)으로 처리하여 실측 APD 곡선을 얻을 수 있을 수 있는 장점을 가지고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 도시전철의 잡음측정을 위한 효율적인 시스템을 구성하여, 지하철 및 전철에서 발생하는 전자파잡음의 현장측정을 수행하고 여기서 측정된 자료를 이용하여 APD로 처리하여 표현하였다. 그리고 측정된 데이터를 이용하여 A급, B급, C급 잡음으로 분리하여 모형의 개발과 예측을 수행함으로써 도시전철에서 발생하는 잡음을 6개의 변수를 이용하여 표현이 가능하게 되었다.

측정결과 도시전철의 잡음은 B급 임펄스 잡음으

로 구성되어 있다. 또한, 도시전철중 지하철과 전철을 비교하여 보면 DC를 사용하는 지하철보다는 AC를 사용하는 전철에서 보다 많은 잡음이 발생함을 알 수 있으며, 전철의 경우 급전선로에 의해 많은 잡음이 발생되고 있음을 알 수 있다.

도시전철에서 발생하는 잡음 측정시스템과 측정된 10^6 개의 데이터를 6개의 변수로 표현이 가능하므로 여러가지 전자파 환경에 관한 데이터 베이스화에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 윤현보, “자기부상 열차에서의 EMI/EMC 연구,” 한국기계연구원 연구보고서, 1990.

- [2] 윤현보, "전자파호나경 조사 및 잡음 발생원에 대한 연구," 한국무선국관리사업단 연구보고서, 1992.
- [3] 윤현보, "국내의 전자파호나경 실태조사," 한국무선국관리사업단 연구보고서, 1993.
- [4] A.D.Spaulding, "The determination of received noise from vehicular traffic statistics," IEEE NTC Report, 72 CHO 601-5-NTC, 1972.
- [5] T.Nakai, "Measurement and analysis of impulsive noise from bullet train," IEEE Trans. on EMC, Vol.EMC-28, No.4 pp.193-203, November 1986.
- [6] T.Nakai and Z.Kawasaki, "On impulsive noise from Shinkansen," IEEE Trans.on EMC, Vol. EMC-25, No.4, pp.396-404, November 1983.
- [7] T.Nakai, "Automotive noise from a motorway: Part I, Measurement," IEEE Trans Electromagnetic Compatibility, Vol.EMC-26, pp.169-174, 1984.
- [8] T.Nakai, "Automotive noise from a motorway: Part II, Analysis," IEEE Trans Electromagnetic Compatibility, Vol.EMC-26, pp.175-182, 1984.
- [9] A.U.H.Sheiki and J.D.Parsons, "Statistics of electromagnetic noise due to high-voltage power lines," IEEE Trans. on EMC, Vol.EMC-23, No.4, pp.412-419, November 1981.
- [10] E.N.Skomal, "Man-made noise in the M/W frequency range: an RFI problem area identified and analyzed," Microwave J. pp.44-47, January, 1975.
- [11] R.Hanning, "Calculating the noise voltages induced in telephone lines by electric railways," IEEE 1982 Inter. Symp. on EMC, pp.370-376, 1982.