

# 자동차 점화계통에서 발생된 전자파 잡음의 측정 및 통계적 모형

## Measurements and Statistical Modeling of Ignition Noise from Vehicle

김종호\* · 윤현보\*\* · 백락준\*\* · 우종우\*\*

Jong-Ho Kim\* · Hyun-Bo Yoon\*\* · Rack-Jun Baek\*\* · Jong-Woo Woo\*\*

### 요 약

자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음을 측정하고 통계확률적인 방법을 이용하여 모델링을 하였다. 낮은 크기의 잡음도 측정이 가능하도록 수신기와 3축 안테나의 사이에 저잡음증폭기와 대역통과필터를 연결 구성하고, 800 MHz 대역의 진폭확률분포(APD)와 펄스간격분포(PSD)를 측정하였다. 측정된 APD 곡선을 3개(A급) 또는 6개(B급)의 변수로 모형화하였으며, 변수의 최적치를 쉽게 계산할 수 있는 합성근사화 알고리즘을 사용하였다. 진폭확률분포에 관한 모형변수를 추출함으로써 전자파환경의 데이터 베이스화가 가능하며, 송·수신기의 출력 및 감도의 마진 결정에 기초적인 자료로 이용이 가능하다.

### Abstract

The ignition noises from the vehicle are measured and the measurement data are statistically treated for modeling.

The low-noise amplifier and band-pass filter are added between the receiver and the three axes antenna for low noise level measurement and the APD and PSD are measured in 800 MHz frequency range.

The measured APD curves can be expressed in terms of sensitivity study of each model through 3 (class A) or 6(Class B) parameters variation, and these optimal parameter can easily be calculated by using the Composite Approximation Algorithm.

The selected APD parameter can be used for making the Data Base EM-environments and also applied to determine the output and sensitivity margin for the transmitter and receiver.

### I. 서 론

자동차의 점화계통에서 발생하는 잡음은 도심환

경의 전파신호에 심각한 문제를 일으킬 수 있으며 특히, 이동통신용 단말기가 동작하는 주변에서 항상 존재할 수 있다. 또한, 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음은 아나로그 및 디지털 통신

\* 한국전자통신연구원 전파신호처리연구실(Radio Signal Processing Section, ETRI)

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

· 논문 번호 : 970515-033

· 수정완료일자 : 1997년 7월 26일

용으로 사용되는 주파수 대역에 장애를 줄 수 있는 잠재성을 가지고 있으며, 여기서 발생하는 전자파의 세기가 의도성 통신 신호 레벨보다는 낮을지라도 전 주파수 대역에 걸쳐 주변잡음(ambient noise) 레벨을 증가시키기 때문에 신호대 잡음(S/N)비를 악화시키게 되며 미약 통신 신호에 대해서는 직접적인 장애를 유발시킬 수 있으며, 주변선로 등과 결합하여 통화 품질을 저하시킴으로써, 결국에는 의도성 통신 신호 레벨을 증가시켜야 하는 문제가 발생하게 된다<sup>[1]~[5]</sup>.

따라서 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음의 발생에 대한 연구로써 현재 국내에서 생산되고 있는 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음 현황을 조사할 필요가 있다.

자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음 조사를 위하여 측정시스템의 안테나와 수신기의 사이에 저잡음 증폭기(LNA)와 대역통과필터(BPF)를 첨가하여 낮은 레벨의 잡음도 측정이 가능하게 구성하였으며<sup>[6],[7]</sup>, 이동통신이 사용하고 있는 주파수 대역인 800~900 MHz에서의 측정을 수행하고, 그 중 이동통신이 사용하고 있지 않는 한 개의 주파수인 821 MHz에서 통계확률처리를 위한 측정을 수행하였다. 그리고 측정된 데이터를 진폭확률분포(APD: Amplitude Probability Distribution)와 펄스간격분포(PSD: Pulse Spacing Distribution)로 처리하여 표현하였으며, APD의 경우, 자동차의

점화계통에서 발생하는 전자파 잡음을 A, B, C급 잡음으로 분류하고 확률 통계방법을 이용하여 잡음을 모델링하였다.

## II. 전자파 잡음 자동 측정 시스템 구현

전자파잡음 측정시스템의 사양을 표 1에 나타내었으며, 그 구성도를 그림 1에 나타내었다.

스펙트럼 분석기와 컴퓨터는 인터페이스 카드인 HPIB를 사용하여 컴퓨터에서 스펙트럼 분석기를 자동으로 제어하고 측정데이터의 처리 및 저장을 하도록 구성하였다. 또한, 안테나와 수신기의 사이에 저잡음 증폭기와 대역통과필터를 첨가함으로써 작은 크기의 잡음신호도 측정이 가능하도록 측정시스템의 감도를 높였다.

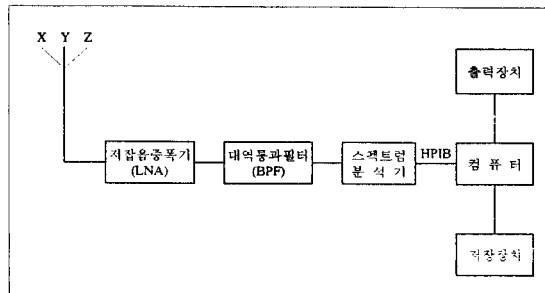
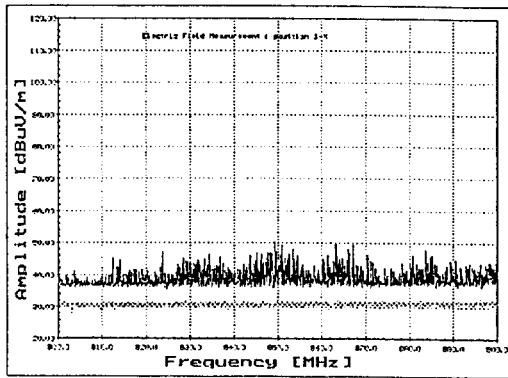


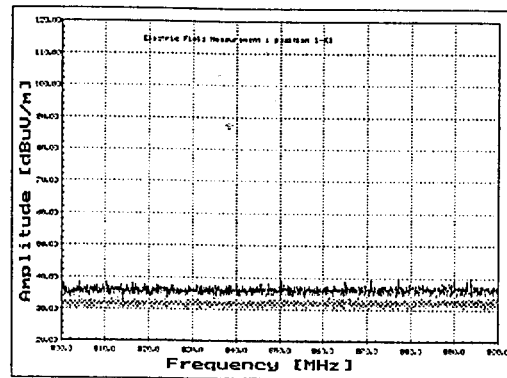
그림 1. 전자파 잡음측정시스템의 구성도

표 1. 측정장비의 사양

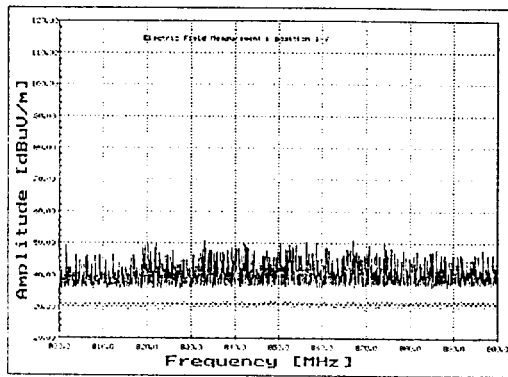
측정장비	모델명	비고
Spectrum analyzer	HP-8594E	9 kHz~22 GHz
Antenna	3축 dipole antenna	800 MHz 대역
486 PC	IBM	측정기제어 및 처리
HPIB	742377	인터페이스카드
LNA	APA-800	800~900 MHz
BPF	ACF-800	800~900 MHz Cavity band pass filter



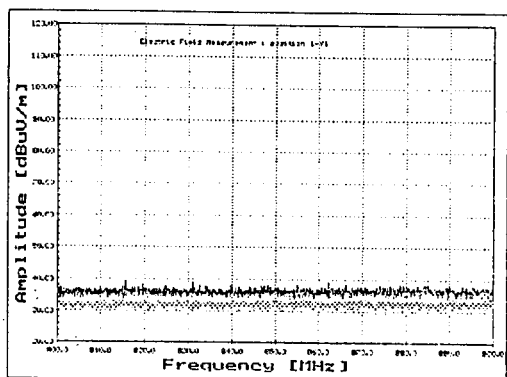
(a) X축



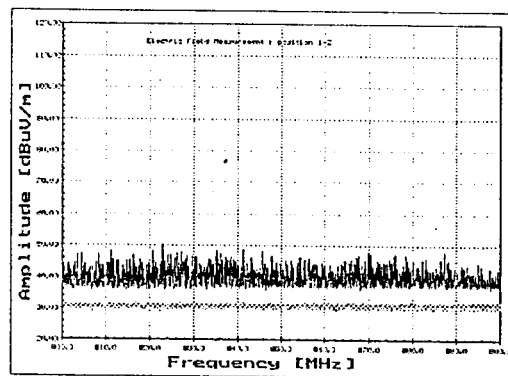
(a) X축



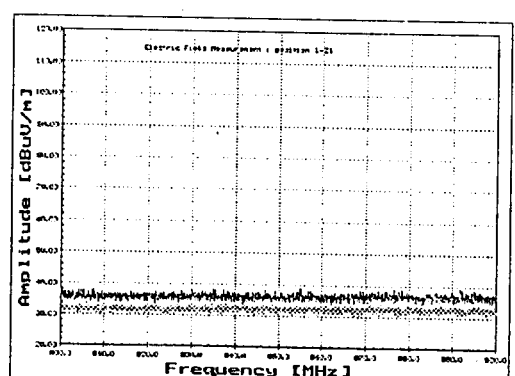
(b) Y축



(b) Y축



(c) Z축



(c) Z축

그림 2. 자동차 접화계통에서 발생하는 전자파잡음 측정 (전기장, 800~900 MHz, 1,500 cc)

그림 3. 자동차가 없는 경우의 주변잡음 측정 (전기장, 800~900 MHz)

### Ⅲ. 자동차 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음 측정

자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음을 이동통신 주파수대역인 800~900 MHz에서 X, Y, Z 방향의 3축 안테나를 사용하여 배기량이 1,500 cc인 차량을 측정하였다. 측정을 위하여 그림 1에 도시된 측정시스템을 사용하여 측정하였다. 각각의 측정데이터는 100회의 반복측정을 하여 주파수별 최대, 최소, 평균값을 나타내었으며, 자동차의 엔진 회전수가 800 RPM인 상태에서 800 MHz 대역의 이동통신이 들어오지 않는 지하주차장에서 측정을 수행하였다. 그때 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음을 측정한 데이터를 그림 2에 나타내었으며, 그림 3에는 자동차의 엔진을 끈 상태의 측정치를 각각 보였다.

### Ⅳ. 측정 데이터의 확률처리

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<sup>2)</sup>.

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 Middleton<sup>[8]</sup>, Spaulding<sup>[9]</sup>, Nakai<sup>[10]-[13]</sup> 등에 의해 확률적으로 모형화되었다.

Middleton의 경우 잡음의 점유 대역폭과 수신기 수신 대역폭 사이의 관계에서 잡음의 종류를 A, B, C급으로 분류하여, 각각의 잡음진폭확률분포 곡선을 통계-물리적인 이론에 의한 해석방법을 통해 A급 잡음은 3개, B급 잡음은 6개의 변수로 표현되는 모형을 제시하였으며, 본 연구에서는 Middleton의 모형의 최적 변수를 추출할 수 있는 방법을 연구하였다. 측정된 데이터에 합성근사화방법을 적용하여 보다 빠른 시간에 변수들을 추출함으로써, 대량의 측정 데이터를 저장하여야 하는 전자파환경에 대한 데이터 저장용량을 크게 감소시킬 수 있게 함으로서 전자파환경의 데이터 베이스가 좀더 적은 용량으로도 가능하게 될 수 있다.

#### 4-1 잡음의 통계적 모형

전자파 잡음은 협대역 수신기(narrow-band receiver)에 대하여 3가지(A, B, C급 잡음) 특성으로 분류된다<표 2>.

잡음은 그림 4와 같이 선형 수신기를 통해 수신된 잡음 신호의 변화로 의해서 생성된 잡음 포락선의 모양에 따라 특징지우고 있다.

A, B급 잡음의 확률분포함수는 다음과 같다.

표 2. 전자파 잡음의 분류

A급 잡음	B급 잡음	C급 잡음
복사성 잡음의 주파수 성분들이 수신기의 가장 좁은 대역보다 좁은 스펙트럼폭을 갖는다. 즉, 수신기내에서는 잡음 신호에 의한 중요한 과도 임펄스가 발생하지 않는다.	복사성 잡음의 주파수 성분들이 수신기의 대역폭보다 넓은 스펙트럼의 범위로 연장되며, 임펄스 여기와 분명한 지수적 신호 생성, 신호 감쇠, 감쇠진동 등이 해당된다.	A급 잡음 + B급 잡음

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

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

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-II} \doteq e^{-A_{\infty,B}} \exp \left[ A_{\infty,B} e^{-b_2 r^2/2} - \sigma_G^2 \frac{r^2}{2} \right] \cdot [1+0(r^4)] \quad (3)$$

여기서, 첨자  $G$ 와  $A, B$ 는 각각 가우스 잡음 성분과  $A$  및  $B$ 급 잡음을 나타내며,  $I, II$ 는  $B$ 급 잡음에서의 영역분류를 나타낸다. 또한  $A_{\infty,A}, A_{\infty,B}$ 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.

$\sigma_G^2$ 은 가우스 잡음의 편차를 나타내며,  $0(\ )$ 는 오차함수,  $b_{\alpha}$ 는 하중 모멘트,  $\alpha$ 는 공간밀도 전달변수를 나타낸다.

따라서  $A, B$ 급 잡음에 대한 일반화된 진폭확률 분포함수는 식 (4)와 같이 된다.

$$P_1(\epsilon > \epsilon_0)_{A,B} = 1 - \epsilon_0 \int_0^{\infty} J_1(\lambda \epsilon_0) \hat{F}_1(i a \lambda)_{A,B} d\lambda \quad (4)$$

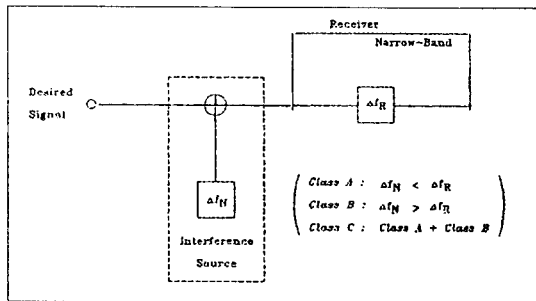


그림 4. 협대역 수신기에 대한 잡음의 분류

#### 4-1-1 A급 잡음 특성 함수

$A$ 급 잡음에 대한 특성함수 식 (1)을 정규화하여, 다음의 근사화식을 얻을 수 있다.

$$\hat{F}_1(ir)_A \doteq e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m} \exp \left[ -\hat{\sigma}_{mA}^2 a^2 \frac{\lambda^2}{2} \right] \quad (5)$$

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

식 (4)와 (5)에 Confluent Hypergeometric 함수  ${}_1F_1(1, 2, -x) = \frac{1 - e^{-x}}{x}$ 를 사용하여 적분하면 진폭확률분포함수  $P_1(\epsilon > \epsilon_0)_A$ 는

$$P_1(\epsilon > \epsilon_0)_A = 1 - e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m} \frac{\epsilon_0^2}{2 \hat{\sigma}_{mA}^2} \cdot {}_1F_1 \left[ 1, 2, -\frac{\epsilon_0^2}{2 \hat{\sigma}_{mA}^2} \right] = e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m} \exp \left[ -\epsilon_0^2 / (2 \hat{\sigma}_{mA}^2) \right] \quad (6)$$

으로 된다.

#### 4-1-2 B급 잡음 특성 함수

$B$ 급 잡음은 두개의 영역  $I$ 과  $II$ 로 분류되며, 각 영역의 특성함수는 식 (2)와 식 (3)과 같으며, 이 식들에서  $A_{\infty,B}$ 를 유한기간 동안의 임펄스지수  $A_B$ 로 근사화시킨 후 정규화하면,

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-I} \doteq \exp \left[ -b_1 \alpha A_B a^2 - \Delta \sigma_G^2 a^2 \frac{\lambda^2}{2} \right] \quad (7)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-II} \doteq e^{-A_B} \exp \left[ A_B e^{-b_2 a^2 \frac{\lambda^2}{2}} - \sigma_G^2 a^2 \frac{\lambda^2}{2} \right] \quad (8)$$

이 얻어진다.

이들 특성함수들을 B급 잡음의 영역 I 과 영역 II에 대한 확률분포함수  $P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_B$ 를 얻을 수 있다.

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_B = 1 - \hat{\varepsilon}_0^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n A_A^n}{n} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{an}{2}\right) {}_1F_1\left(1 + \frac{an}{2}, 2, -\hat{\varepsilon}_0^2\right) \quad (9)$$

여기서  $\hat{\varepsilon}_0 \equiv \varepsilon_0 \frac{N_i}{2G_B}$ ,  $\hat{A}_\alpha \equiv \frac{A_\alpha G_B^\alpha}{2^\alpha}$  이며,  $N_i$ 는 Scale Factor,  $G_B$ 는 잡음원의 파형을 나타낸다.

앞 식에 나타난 Confluent Hypergeometric 함수( ${}_1F_1$ )를 B급 잡음에 적용할 때는 수렴급수에 의해 다음과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$${}_1F_1(\alpha, \beta, -x) \cong \frac{\Gamma(\beta)}{\Gamma(\beta-\alpha)} x^{-\alpha} \cdot \left[ 1 + \frac{\alpha(\alpha-\beta+1)}{x} + \frac{\alpha(\alpha+1)(\alpha-\beta+1)(\alpha-\beta+2)}{2!x^2} \dots \right]_{\text{for } x^2 > 1} \quad (10)$$

식 (10)을 식 (9)에 대입함으로써 영역 I에서  $\varepsilon_0 > \varepsilon_B$  경우에 대한 확률분포함수  $P_1(\hat{\varepsilon} > \hat{\varepsilon}_0)_{B-I}$ 가 얻어진다.

$$\hat{P}_1(\hat{\varepsilon} > \hat{\varepsilon}_0)_{B-I} \cong \sum_n = 1^\infty \frac{\hat{A}_\alpha (-1)^n A_A^n}{n}$$

표 3. 차량의 배기량에 따른 진폭확률분포

차량의 배기량	존 재 확 률		
	1,500 cc	1,800 cc	2,000 cc
17 dBuV /m (최소치)	0.36870 %	0.76180 %	3.85510 %
최대치	35 dBuV /m 0.0002 %	51 dBuV /m 0.0002 %	43 dBuV /m 0.0001 %

$$\frac{\Gamma(1 + \frac{\alpha}{2})}{\Gamma(1 - \frac{an}{2})} \cdot \hat{\varepsilon}_0^{-na} \left[ 1 + \frac{1+(an/2)(an)}{2\hat{\varepsilon}_0^2} + \dots \right]_{\text{for } \hat{\varepsilon}_0 > 1} \quad (11)$$

여기서  $\hat{A}_\alpha$ 는 실효임펄스성 지수이다.

또한, 영역 II에 대해서는 식 (4)에 식 (8)을 대입함으로써  $\varepsilon_0 > \varepsilon_B$  경우에 대한 확률분포함수  $P_1(\hat{\varepsilon} > \hat{\varepsilon}_0)_{B-II}$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{P}_1(\hat{\varepsilon} > \hat{\varepsilon}_0)_{B-II} \cong \frac{e^{A_B}}{4G_B^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\hat{A}_B^m}{m} \exp\left[\frac{-\varepsilon_0^2 \hat{\sigma}_{mB}^2}{2}\right]_{\text{for } \varepsilon_0 > \varepsilon_B} \quad (12)$$

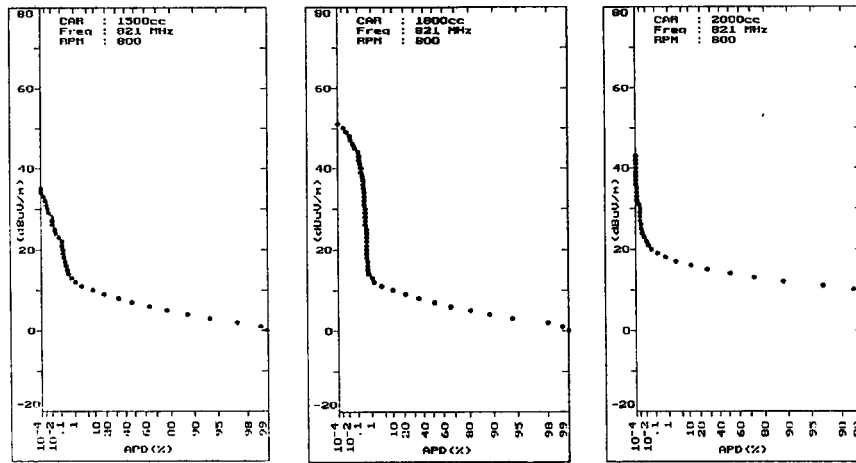
여기서  $\hat{\sigma}_{mB}$ 는 B급 잡음에서 가우스 성분의 편차이다.

#### 4-2 진폭확률곡선의 측정

자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음의 확률분포를 구하기 위하여 그림 1의 측정시스템의 안테나와 측정기의 사이에 저잡음 증폭기와 Cavity 대역통과필터를 추가로 사용하여 측정하였다.

저잡음 증폭기를 사용하여 아주 작은 크기의 잡음도 측정이 가능하게 되며, 또한 Cavity 대역통과필터를 사용하면, 다른 주파수에 의한 간섭을 줄일 수 있는 장점이 있게 된다.

측정 주파수는 이동통신 대역내에서 사용하지 않



(a) 1,500 cc                      (b) 1,800 cc                      (c) 2,000 cc

그림 5. 배기량에 따른 APD 곡선(821 MHz)

는 821 MHz에서 수행하였으며, 자동차의 배기량에 따라 10<sup>6</sup>번 측정하여 얻은 데이터로 APD 곡선을 도시하였다.

그림 5에는 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파 잡음을 주파수 821 MHz에서 10<sup>6</sup>번 측정하여 얻은 데이터를 APD 곡선으로 나타냈으며, 표 3에는 진폭확률분포의 최소 및 최대치를 나타내었다. 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파잡음의 APD 곡선에 의한 특성은 1,500 cc와 2,000 cc인 경우 전형적인 B급 잡음의 특성(그림 5(a, c))을 가지고 있으며, 1,800 cc인 경우 전형적인 A급 잡음의 특성(그림 5(b))을 가지고 있다.

4-2-1 펄스간격분포(PSD : pulse spacing distribution)

PSD는 측정시간 T 동안의 파형이 그림 6과 같을 때 측정된 신호가 일정한 크기를 넘지 않는 시간들의 총합을 의미한다.

$$PSD \left[ \frac{t_s}{v_j} \right] = \int_{t_i}^{\infty} P_s \left[ \frac{t}{v_j} \right] dt \quad (13)$$

또한, PSD는 APD의 측정시 부수적으로 같이 얻어질 수 있는 확률분포로 APD의 측정시간에 대하여 진폭의 크기를 측정함으로써 얻어진다.

이때 APD 곡선은 측정된 신호가 일정한 크기를 넘을 확률을 표현하므로 APD 곡선을 측정한 시간 T를 알고 있다면, PSD 곡선은 APD 곡선의 진폭 확률이 존재하지 않을 확률과 같은 의미를 지니게 된다.

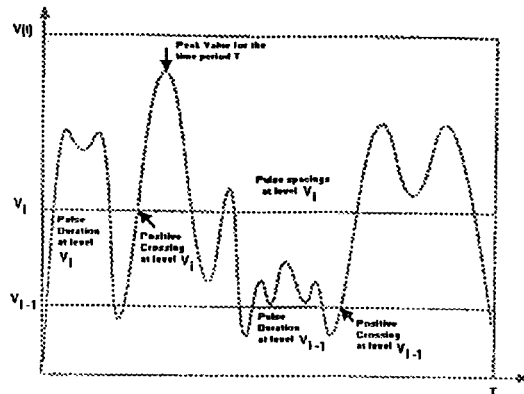
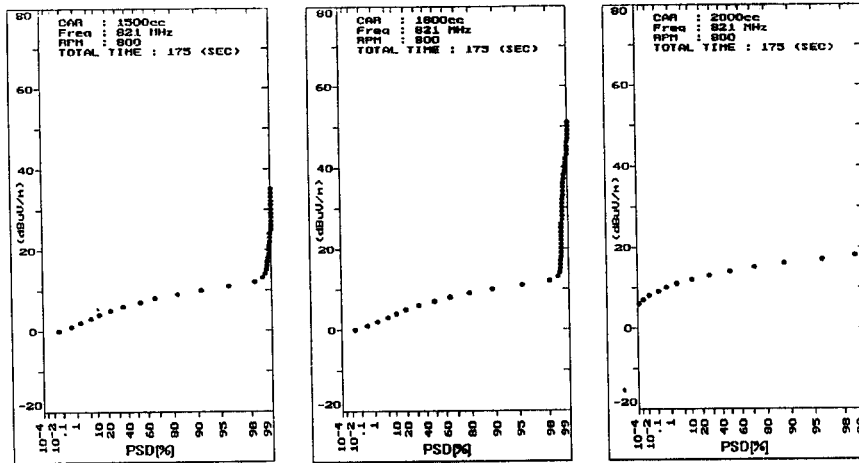


그림 6. 시간에 따른 잡음신호의 변화 예



(a) 1,500 cc

(b) 1,800 cc

(c) 2,000 cc

그림 7. 배기량에 따른 PSD 곡선(821 MHz)

$$PSD \left[ \frac{t_s}{v_j} \right] = \int_{t_i}^{\infty} P_s \left[ \frac{t}{v_j} \right] dt = [100 - APD(\%)] \times T \quad (14)$$

여기서, APD(%): 측정된 신호가 일정한 크기를 넘을 확률, T: 측정에 걸린 시간을 표현한다.

따라서 APD와 더불어 PSD 곡선도 진폭확률곡선에서 변환이 가능하도록 표현함으로써 APD 곡선에 대한 파라미터만으로도 PSD에 관한 정보를 얻을 수 있도록 하였다.

이 방법을 이용하여 배기량에 따른 자동차 점화계통에서 발생되는 점화잡음을 PSD 곡선으로 나타내면, 그림 7과 같이 나타난다.

### 4-3 전자파잡음의 통계적 모형

#### 4-3-1 잡음모형의 변수 추출

A급 잡음의 경우 3개의 변수를 식 (6)에 의하여 구하여질 수 있으며, B급 잡음의 확률분포함수는 그림 8과 같이 영역 I ( $\epsilon_B \geq \epsilon_0$ )과 영역 II ( $\epsilon_B \leq \epsilon_0$ )는 굴곡점  $\epsilon_B$ 를 중심으로 구분된다.

영역 I과 영역 II에 대한 근사화 확률분포함수  $P_{I-I}$ 과  $P_{I-II}$ 는 식 (2), (11)과 식 (12)로부터 각각 얻을 수 있다.

영역 I에서는

- i) 실효임펄스지수( $\hat{A}_x$ ): 영역 II의 임펄스지수에 비례하며, 공간 밀도전달변수에 따라 변화한다.
- ii) 공간밀도전달변수( $\alpha$ ): 잡음발생원의 밀도 분포에 따라 변화하며,  $0 < \alpha < 2$  범위의 값을 갖게 된다. 영역 I과 영역 II에서 공통이다.
- iii) Scale factor( $N_i$ ): 영역 I과 영역 II를 합성할 때 평탄하게 연결해 주기 위한 인자이다.

영역 II에서는

- i) 가우스-임펄스비( $\Gamma_B$ ): 임펄스성분에 대한 가우스성분의 비율을 나타낸다.

$$\left( \Gamma_B \equiv \frac{\sigma_G^2}{\Omega_{2A}} \right)$$

- ii) 굴곡점( $\epsilon_B$ ): 영역 I과 영역 II의 굴곡점을 나타내는 변수이다.



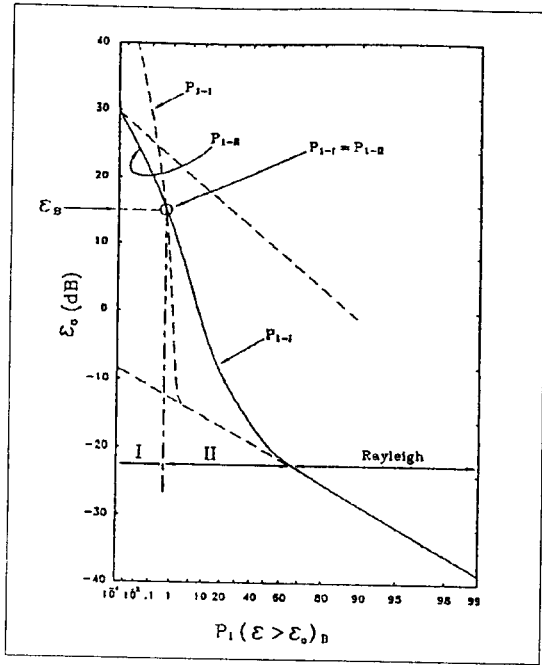


그림 8. B급 잡음에 대한 파라미터

iii) 임펄스지수( $A_B$ ) : 잡음원에서 발생하는 임펄스의 평균수를 정의한다.

이상의 것이 B급 임펄스성 잡음을 나타내는 주요 변수가 된다.

측정결과로 얻은 APD 곡선에서 굴곡점이 변화함을 알 수 있다. 따라서 Rayleigh 영역과 굴곡점에 대하여 합성근사화를 수행함으로써 APD 곡선을 얻을 수 있다.

측정된 APD 곡선으로부터 잡음 모형의 변수를 찾아내는 알고리즘을 그림 9에 그 흐름도를 보였으며, 이때 흐름도에서 굴곡점( $\epsilon_B$ )을 찾아내는 것이 중요하며, 설정된 굴곡점이  $P_{1-I}$ ,  $P_{1-II}$  두 부분의 함수의 기울기가 일치할 경우 변수를 출력하게 프로그램을 구성하였다.

그림 8에서 영역 I과 영역 II가 만나는 굴곡점에서의 관계식은 식 (15)~(18)과 같다.

i) Rayleigh 영역에서  $P_{1-I} = P_{1-II}$ 이며,

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

ii)  $P_{1-I}$ 와  $P_{1-II}$ 는 rayleigh 영역에서 같은 진폭특성을 나타내므로, 각각의 제1차 도함수는 같다( $dP_{1-I}/d\epsilon_0 = dP_{1-II}/d\epsilon_0$ ).

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

iii) 두 근사화의 굴곡점에서  $P_{1-I} = P_{1-II}$ 이고, 이 굴곡점  $\epsilon_B$ 는 실험으로 얻은 APD 곡선으로부터 결정한다.

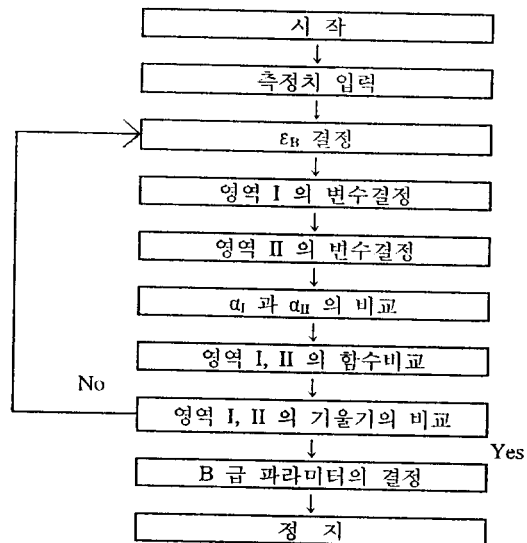
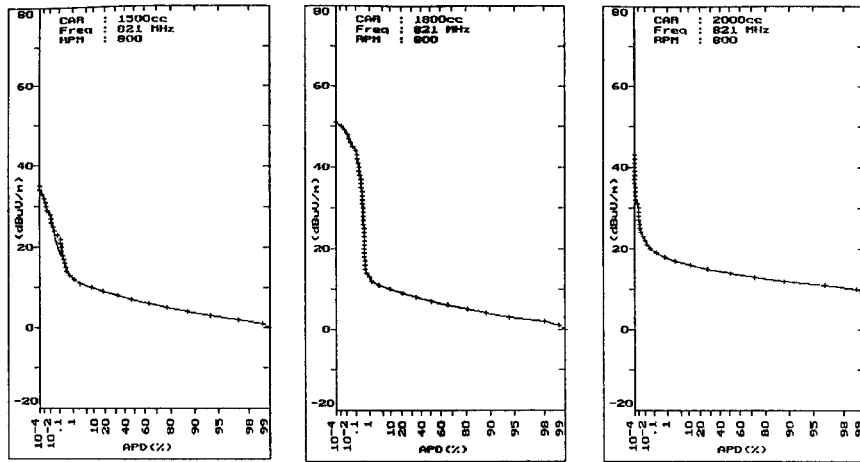


그림 9. 합성근사화 흐름도

표 3. 추출된 잡음모형 변수

A급			B급			
파라미터	기호	1,800 cc	파라미터	기호	1,500 cc	2,000 cc
임펄스지수	$A_A$	0.00013	공간밀도전달변수	$\alpha$	1.18	1.2
			실효임펄스지수	$\hat{A}_\alpha$	0.011	0.0001
가우스-임펄스비	$\Gamma_A$	0.095	임펄스지수	$A_B$	$4 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$
			가우스-임펄스비	$\Gamma_B$	7.1	8.0
편 차	$\Omega_{2A}$	0.052	영역 I, II 교차점	$\epsilon_B$	20 dB	24 dB
			Scale Factor	$N_i$	7.3 dB	5.82 dB



(a) 1,500 cc

(b) 1,800 cc

(c) 2,000 cc

+++ 측정치

— 계산치

그림 10. 복원된 확률분포곡선과 측정된 확률분포곡선의 비교(주파수 821 MHz)

$$\frac{A_\alpha \Gamma(1 + \frac{1}{2} \alpha)}{2^\alpha G_B^\alpha (1 - \frac{1}{2} \alpha)} \left( \frac{\epsilon_B N_i}{2G_B} \right)^{-\alpha} [1 + 0(\epsilon_B N_i)]$$

$$= \frac{1}{4G_B^2} e^{-A_B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} \exp\left(-\frac{\epsilon_B^2}{2\sigma_{mB}^2}\right) \quad (17)$$

$$\frac{\alpha A_\alpha \Gamma(1 + \frac{1}{2} \alpha)}{2^{\alpha-1} G_B^{\alpha-1} \Gamma(1 - \frac{1}{2} \alpha)} \left( \frac{\epsilon_B N_i}{2G_B} \right)^{-\alpha}$$

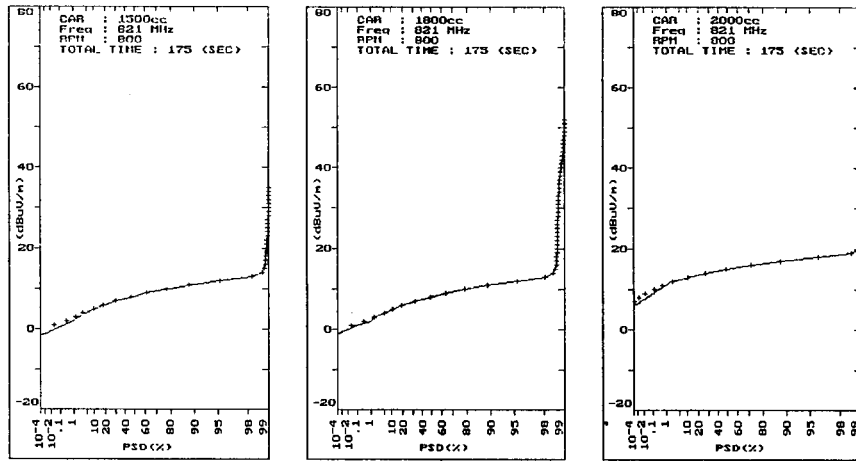
$$[1 + 0(\epsilon_B, N_i)]$$

$$= \frac{\epsilon_B}{4G_B^2} e^{-A_B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} \exp\left(-\frac{\epsilon_B^2}{2\sigma_{mB}^2}\right) \quad (18)$$

iv) 또한 굴곡점  $\epsilon_B$ 에서  $P_{1-I}$ 와  $P_{1-II}$ 의 도함수는 같다.

$$([dP_{1-I}/d\epsilon = dP_{1-II}/d\epsilon]_{\epsilon=\epsilon_0})$$

자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파잡음을 A, B급에 따라 구한 각각의 변수를 표 3에 보였다.



(a) 1,500 cc

(b) 1,800 cc

(c) 2,000 cc

+++ 측정치

— 계산치

그림 11. 복원된 펄스간격분포곡선과 측정된 펄스간격분포곡선의 비교(주파수 821 MHz)

#### 4-3-2 잡음모형과 실측결과의 비교

최적 추출된 변수를 사용하여 시뮬레이션한 APD 곡선과 실측곡선을 그림 10에서 비교하였다. 각 그림에서 측정치는 점으로 나타내었으며, 시뮬레이션 값은 실선으로 나타내었다.

전자파 잡음의 확률분포함수의 변수추출방법은 A급 잡음인 경우 10<sup>6</sup>개의 측정치를 모두 저장하지 않고도 원래의 곡선을 3개의 변수만으로 복원이 가능하며, B급 잡음인 경우 6개의 변수만으로 복원이 가능하기 때문에 측정 데이터의 양을 줄일 수 있다.

또한 측정 시스템을 자동화함으로써 측정값을 실시간(real time)으로 처리하여 실측 APD 곡선을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 자동차점화계통에서 발생하는 전자파잡음의 정밀측정을 위하여 측정용 안테나와 수

신기 사이에 저잡음증폭기와 대역통과필터를 사용하여 측정시스템의 성능을 향상시켰다.

이 측정시스템을 이용하여 자동차에서 발생하는 전자파잡음의 현장측정을 수행하고 여기서 측정된 자료를 이용하여 APD 및 PSD로 처리하여 표현하였다. 그리고 측정된 데이터를 이용하여 A, B, C급 잡음으로 분리하여 모형의 개발과 예측을 수행함으로써 자동차의 점화계통에서 발생하는 잡음을 3 또는 6개의 변수를 이용하여 표현이 가능하게 되었으며, 전자파환경에 대한 데이터 베이스화에 측정치의 저장용량의 감소를 가져올 수 있으며, 시스템의 자동화 및 안정화로 좀더 효율적인 측정이 가능하다.

자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파잡음의 측정결과는 차량에 따라 A, B급 임펄스 잡음으로 구성되어 있으며, 측정주파수인 821 MHz에서 시스템잡음을 제외하고 최소크기의 잡음은 17 dBuV/m로 최대 존재확률은 3.85510%이며, 최대크기의 잡음은 1,800 cc에서의 51 dBuV/m로 이때 존재확률은 0.0002%로 측정되었다.

본 연구는 도심에서 가장 큰 잡음원인 차량에서 발생하는 점화 잡음을 분석 모형화함으로써 이동통신의 송·수신의 출력 및 감도의 마진을 결정하는 기초적인 자료가 되며, 시스템의 안정화를 위한 시스템 기초응용자료로 이용이 가능하리라 생각된다.

또한, 자동차의 점화계통에서 발생하는 전자파잡음을 측정하기 위한 측정시스템을 전자파환경 측정에 응용할 수 있으며, APD 및 PSD 곡선의 모형에서 추출된 파라미터는 측정 데이터를 그대로 저장하는 경우보다 파라미터만을 저장함으로써 적은 저장용량으로도 전자파 환경의 데이터 베이스화에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 윤현보, “자기부상 열차에서의 EMI /EMC 연구”, 한국기계연구원 연구보고서, 1990.
- [2] 윤현보, “전자파환경 조사 및 잡음 발생원에 대한 연구”, 한국무선국관리사업단 연구보고서, 1992.
- [3] 윤현보, “국내의 전자파환경 실태조사”, 한국무선국관리사업단 연구보고서, 1993.
- [4] 윤현보, “디지털 이동전화 주파수 대역의 인위적 잡음의 측정 및 모형화 연구”, 한국전자통신연구소 연구보고서, 1996.
- [5] 심환우, 윤현보, 백락준, 우종우, “도시전철에서 발생한 전자파 잡음의 측정 및 통계적 모형”, 한국전자파학회 논문지, 제6권 4호, pp. 37-47, 1995.
- [6] D. Apostolakis and Dr. P. Constantinou, “Man made noise measurements and modeling”, ICUPC '93, pp. 585-589, 1993.
- [7] V. P. Arafiles and L. L. Turner, “RFI / EMI automated measurement system (REAMS)”, *IEEE 1991 Inter. Sympo. on EMC*, pp. 446-451, August 1991.
- [8] D. Middleton, “Statistical-physical models of electromagnetic Interference”, *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-19, pp. 106-127, 1977.
- [9] A. D. Spaulding, “The determination of received noise levels from vehicular traffic statistics”, *IEEE NTC Report*, 72 CHO 601-5-NTC, 1972.
- [10] 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.
- [11] T. Nakai and Z. Kawasaki, “On impulsive noise from Shinkansen”, *IEEE Trans. on EMC*, vol. EMC-25, no. 4, pp. 396-404, November 1983.
- [12] T. Nakai, “Automotive noise from a motorway: Part I, Measurement”, *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-26, pp. 169-174, 1984.
- [13] T. Nakai, “Automotive noise from a motorway: Part II, Analysis”, *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-26, pp. 175-182, 1984.
- [14] 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.

김 중 호

현재 : 한국전자통신연구원

전파신호처리연구실 선임연구원

윤 현 보

1979년~현재 : 동국대학교 전자공학과 교수

백 락 준

1985년 : 동국대학교 전자공학과(공학사)

1987년 : 동국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1990년~현재 : (주)에이스 테크놀로지 중앙연구소장

1994년~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

우 종 우

1991년 : 동국대학교 전자공학과(공학사)

1993년 : 동국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1994년~현재 : 동국대학교 전자공학과(박사과정)