

GTEM Cell을 이용한 전자레인지 잡음이 무선 랜에 미치는 간섭 영향 분석

Interference Effect of Microwave Oven Noise to Wireless LAN Using a GTEM Cell

정연춘 · 전상봉* · 권석태* · 윤재훈**

Yeon-Choon Chung · Sang Bong Jeon* · Suk-Tai Kwun* · Jae Hoon Yun**

요 약

본 논문에서는 GTEM cell을 이용하여 전자레인지 모의 잡음이 무선 랜에 미치는 간섭 영향을 분석하는 방법을 제안하였다. 비의도성 잡음이 무선 랜에 미치는 간섭 영향을 평가하기 위해서 시간 영역의 전자레인지 모의 잡음 신호를 이용하였으며, 진폭 변조와 주파수 변조를 통해 구현하였다. 또한, GTEM cell은 평가의 신뢰성을 확보하기 위해서 사용되고, GTEM cell의 특성은 주파수 영역과 시간 영역에서의 응답을 평가하였다. 간섭 잡음에 대한 진폭 확률 분포로서 전자레인지 모의 잡음이 무선 랜의 전송에 미치는 영향을 분석하였다.

Abstract

In this paper, we proposed the method of the interference evaluation between the microwave oven noise and the wireless LAN(Local Area Network) by using the GTEM cell. We used microwave oven noise in time to assess the interference unintentional noise effects on wireless LAN and realized by combining an AM(Amplitude Modulation) modulator and a FM(Frequency Modulation) modulator. Also the GTEM cell can be used to guarantee the reliability by the evaluations of the frequency and time responses. As measurement results for the APD(Amplitude Probability Distribution) of the interfering noise we analyzed the effect of microwave oven noise to the throughput of wireless LAN.

Key words : Microwave Oven Noise, Wireless LAN, Interference, GTEM Cell, APD

I. 서 론

최근에는 다양한 무선 통신 서비스가 확대되고 무선 서비스의 융합으로 전파 밀집 공간이 늘어나고 있다. 특히 2.4 GHz 대역에서 블루투스(bluetooth)와 IEEE 802.11b 무선 랜(wireless LAN)과 같은 무선 통신 서비스들이 광범위하게 사용된다. 이 주파수 대역은 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역으로

활당되어 많은 산업 기기들이 사용하고 있으며, 특히 전자레인지와 같은 기기는 2.4 GHz 대역에서 전파 잡음을 발생시켜 무선 통신 서비스의 통신 성능을 심각하게 감소시키고 있다. 이에 따라 통신 성능의 간섭을 평가하기 위해서 전자레인지에서 발생하는 간섭 잡음 모델링에 대한 연구가 중요하며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1],[2]}. 특히 Middleton이 실험적으로서 제안한 방법은 잡음의 진폭

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발 사업의 일환으로 수행하였음[2008-F-014-01, U-사회 전파환경 보호를 위한 전자파 양립성 연구].」

서경대학교 전자공학과(Department of Electronics, Seogyong University)

*한국전파진흥협회 EMC기술지원센터(Korea Radio Promotion Association, EMC Center)

**한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20081105-139

· 수정완료일자 : 2009년 1월 9일

확률 분포(APD: Amplitude Probability Distribution)를 이용하여 통계적 모형을 통한 임펄스성 잡음으로 전자레인지 잡음을 모델링하여 무선 링크의 BER(Bit Error Rate)로 통신의 성능을 평가하였다^[3]. 이와 같은 통계적 모형은 APD의 통계적 파라미터로 표현되며, 여기에는 시간 영역에서의 잡음 파형에 대한 정보가 없으므로 단기 BER 성능 평가가 어려우며, 게다가 실제 전자레인지의 잡음 신호는 시간에 따라 주파수가 바뀌면서 발생되기 때문에 FHSS(Frequency Hopped Spread Spectrum) 시스템의 간섭에 대한 성능 평가를 하기 위해서 호핑 주파수 채널에 따른 통계적 파라미터를 각각 구해야 한다.

최근, 일본에서는 전자레인지를 시간 영역에서 실험하고 이를 시간 영역에서 모의 잡음으로 진폭 변조와 주파수 변조를 통해 구현한 논문이 발표되었다^[4]. 본 연구에서 전자레인지의 시간 영역 모의 잡음을 2.4 GHz 대역에서의 비의도성 잡음으로 사용하는 목적으로 구현하여 간섭 신호로 사용한다.

또한, 통신 성능 평가를 위해서는 평가 환경의 구현이 필요하며 일반적으로 전자파 무향실에서 무선 랜과 같은 무선 통신 시스템을 구현하여 측정되어졌다^[5]. 이와 같은 방법은 EUT(Equipment Under Test)를 전자파 무향실에 두고 통신을 하기 위한 AP(Access Point)는 전자파 무향실의 외부에 두고 안테나를 통하여 구현하였으며 이는 비용뿐만 아니라 구현 또한 어려움이 있었다. 최근에는 PW cell(Parallel Wired cell)을 이용하여 측정 환경을 구현한 연구가 발표되었으며, 이는 기본적으로 TEM cell과 같은 원리이나 구조적으로 TEM cell의 옆면을 제거함으로써 EUT와 AP 사이의 통신을 가능하게 하였다^[6]. 하지만 PW cell은 옆면이 개방되어 있으므로 기타 여러 요인의 잡음에 대한 영향을 완전히 배제하였다고 할 수 없으므로 이를 개선하기 위해서 본 연구에서는 완전히 닫혀진 구조인 GTEM cell을 이용하여 잡음에 대한 신뢰성을 높여 무선 통신의 성능을 평가하는 잡음 환경을 구현하였다.

본 논문에서는 비의도성 잡음이 무선 통신 서비스의 성능에 미치는 간섭 영향에 대한 평가를 목적으로 한다. 이를 위해서 비의도성 잡음으로서는 시간 영역에서의 전자레인지 모의 잡음을 이용하며, 간섭 영향 평가 환경으로는 GTEM cell을 이용하여 신뢰

성을 확보하고 간섭 영향에 대한 객관적이고 일반적인 평가 분석 방법을 제안하였다.

II. GTEM Cell의 특성 분석

GTEM cell은 TEM cell의 주파수 범위를 GHz까지 가능하게 구현된 장치이고 전자기장 필드에서 EUT의 내성 시험을 가능하게 만들며 TEM 도파관을 사용한 EMC 측정은 IEC 61000-4-20의 방법에 따라 측정할 수 있다^[7].

측정 환경의 특성을 평가하기 위해서 먼저 입력으로 가해지는 전력에 대한 GTEM cell에서의 전기장 세기를 파악하고 그에 대한 상관성을 확립하여야 한다. 그림 1은 GTEM cell에서의 입력 전력과 전기장의 상관 관계를 확립하기 위한 실험 구성도를 나타내고 있다. 입력으로는 정현파 신호를 100 MHz~5 GHz까지 변화시키면서 10 dBm의 고정된 파워를 입력하였다. 그림 1에서 커플러는 입력된 파워와 반사된 파워를 측정하여 실제로 입력되는 P_{net} 을 측정하기 위해서 사용되고, GTEM cell 내부에는 등방성 전계 probe가 설치되어 발생하는 전기장의 값을 측정한다. GTEM cell에서 입력 전력과 전기장의 세기는 이론적으로 식 (1)과 같이 구해진다.

$$E = \frac{\sqrt{(Z_0 \cdot P_{net})}}{h} \quad (1)$$

여기에서 Z_0 는 특성 임피던스, P_{net} 은 GTEM cell에 실제로 입력되는 전력이며, h 는 GTEM cell의 septum 높이이다.

그림 2의 (a)는 식 (1)에 의해서 구해진 이론적인 전기장의 세기와 그림 1의 방법에서 측정된 값의 전

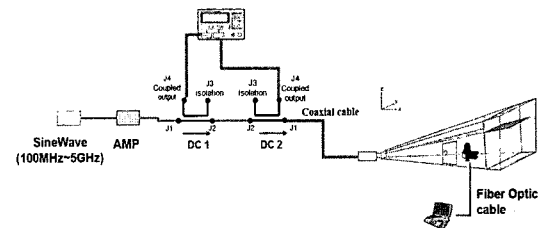
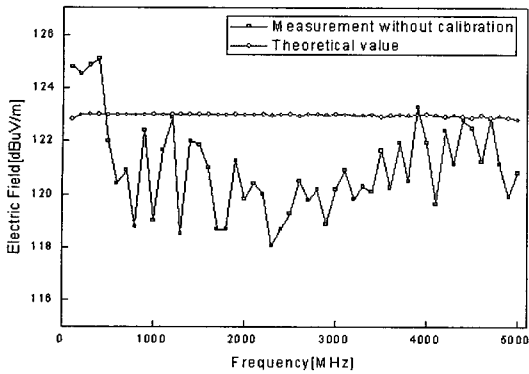
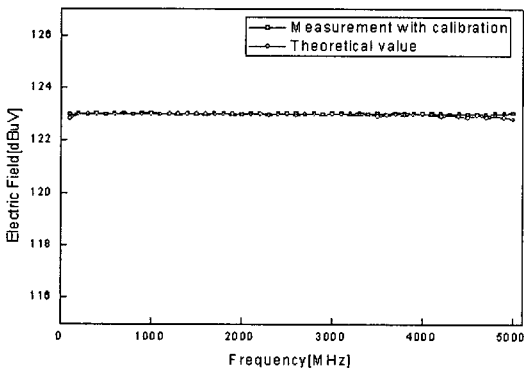


그림 1. GTEM cell의 입력 전력에 대한 전기장 세기의 측정도

Fig. 1. Measurement setup of electric field for input power of GTEM cell.



(a) 주파수별 입력 전력 레벨을 보정하지 않은 경우
(a) Without adjustment of input power level with respect to the frequency



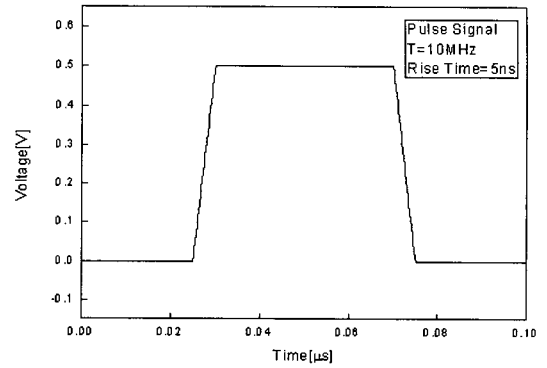
(b) 주파수별 입력 전력 레벨을 보정한 경우
(b) With adjustment of input power level with respect to the frequency

그림 2. GTEM cell에서 전계의 측정된 값과 이론값
Fig. 2. Measured and theoretical values of electric fields at the GTEM cell.

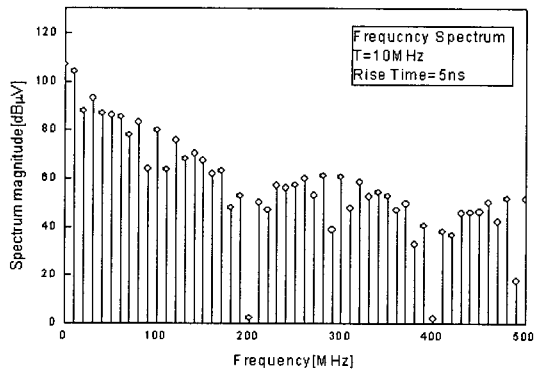
기장의 세기를 나타내고 있다. 이론적인 값은 거의 일정한데 반해 측정된 값은 대략 ± 3 dB 이내에서 변화를 하고 있다. 그림 2의 (b)는 GTEM cell 내부에서 균일한 레벨의 전기장을 생성하기 위해서 각 주파수 별로 출력 레벨의 응답을 이용하여 보정을 거쳐서 생성된 전기장을 나타낸다. GTEM cell에서 생성되는 전기장의 크기를 일정하게 하기 위해 입력 전력을 보정한 결과, 이론적인 전기장 레벨과 $0.1 \text{ dB } \mu\text{V}$ 이내 오차를 보임으로서 주파수 별로 거의 일정한 레벨의 전기장이 측정됨을 알 수 있다.

다음으로 시간 영역에서 GTEM cell 내부에서 발생하는 균일한 전자장을 만들기 위해서 입력 신호는 펄스 신호의 주파수 스펙트럼을 입력으로 인가하고,

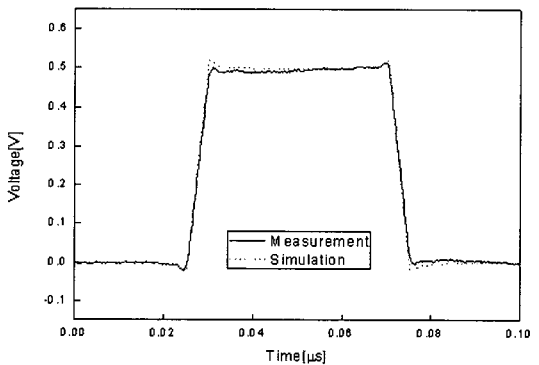
그에 대한 전기장을 측정하여 IFT(Inverse Fourier Transform)에 의해 얻음으로서 시간 영역에서의 균일 전자장에 대한 평가를 할 수 있다. 그림 3의 (a)는 펄스



(a) 입력 펄스
(a) Input pulse



(b) 펄스 스펙트럼
(b) Spectrum of pulse

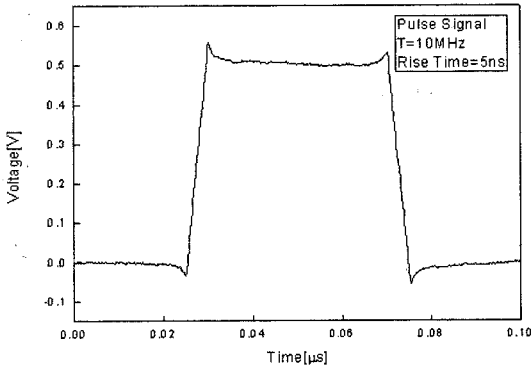


(c) 측정치와 시뮬레이션
(c) Measurement and simulation

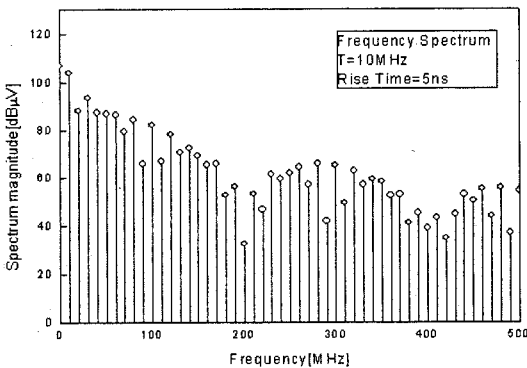
그림 3. 시간 영역에서의 펄스에 대한 GTEM cell의 특성 평가

Fig. 3. Evaluation of GTEM cell for pulse in time domain.

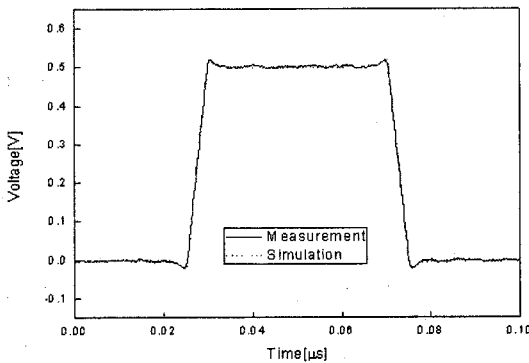
스 주기가 10 MHz이고, 상승 시간이 5 ns인 시간 영역에서의 펄스 파형을 나타내고, 그림 3의 (b)는 펄스에 대한 주파수 스펙트럼을 보여주며, 이 스펙트럼



(a) 입력 펄스
(a) Input pulse



(b) 펄스 스펙트럼
(b) Spectrum of pulse



(c) 측정치와 시뮬레이션
(c) Measurement and simulation

그림 4. 보정을 통한 시간 영역에서의 펄스에 대한 GTEM cell의 특성 평가

Fig. 4. Evaluation of GTEM cell with calibration for pulse in time domain.

은 GTEM cell의 시간 영역에 대한 평가를 위해서 입력으로 사용되며, 본 연구에서는 500 MHz까지의 스펙트럼을 입력으로 사용한다. 그림 3(c)의 실선은 GTEM cell 내부에서 주파수별로 등방성 전계 Probe를 이용하여 측정된 전기장을 IFT에 의해서 구해지는 시간 영역에서의 전기장 필드 분포이며, 점선으로 나타낸 것은 500 MHz까지의 입력을 사용하였을 때 수치적으로 계산된 시간 영역의 펄스파이다. 결과에서 보이는 바와 같이 GTEM cell의 내부 반사에 의해 필드가 시간 영역에서 균일한 분포를 가지지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 GTEM cell의 특성을 고려한 입력 파형을 입력 신호로 적용하기 위해서 보정을 통해서 사용한다. 그림 4의 (a)는 GTEM cell 내부에서 균일한 전기장 분포를 가지기 위해서 보정된 입력 신호이다. 이는 GTEM cell의 주파수 응답을 고려된 신호로서 AWG(Arbitrary Waveform Generator)로 구현 가능한 신호이다. 그림 4의 (b)는 보정된 입력 펄스의 주파수 스펙트럼을 나타내고 있으며, 그림 4의 (c)는 보정된 신호를 입력하였을 경우 GTEM cell 내에서 측정된 스펙트럼을 IFT에 의해서 시간 영역으로 변환한 신호이다. 점선과 비교해 볼 때 거의 일치하는 것을 알 수가 있다. 여기서 에지 부분의 파형이 구형파와 차이가 나는 것은 주파수 스펙트럼을 500 MHz까지만 포함하였기 때문에 고주파수에 대한 스펙트럼을 무시한 결과로서 나타나는 것이라 볼 수 있다.

III. 전자레인지 잡음 모형화 및 구현

전자레인지의 2.45 GHz 주파수 대역에서 RF 에너지를 방사시키며 각 가정이나 사무실에서 많이 사용되는 기기이다. 일반적으로 RF 에너지 발생원인 마그네트론을 구동하는데 사용되는 고전압 전원의 차이에 따라 트랜스포머 형태와 스위칭 형태로 구분되며, AC 전력선의 주파수는 각각 50~60 Hz, 30~50 kHz를 사용한다^[8]. 본 연구에서는 트랜스포머 형태의 전자레인지에 대해 다룬다.

전자레인지 잡음 모델에 대한 기본적인 가정은 다음과 같다^[4].

- 1) 시간 영역에서 잡음 펄스의 폭은 임계전압 (V_0)을 초과하는 구동전압 ($V(t)$)의 시간 간

격의 폭과 같다.

- 2) 펄스 포락선의 순시 진폭은 구동 전압에 대해 선형적으로 변한다(AM).
 - 3) 또한 순시 주파수는 구동 전압에 대해 선형적으로 변한다(FM).
- 수식적으로 표현하면 식 (2)와 같이 나타난다.

$$I(t) = I_0 U(V(t)) \times \exp\left[2\pi j\left(f_0 t + f_{\max} \int_{-\infty}^t V(\xi) d\xi\right)\right] \quad (2)$$

여기에서 f_0 는 캐리어 주파수 (≈ 2.45 GHz), f_{\max} 는 FM의 최대 변이 주파수, $V(t)$ 는 정규화된 구동 전압이고, I_0 는 복소 파라미터로서 잡음의 최대 진폭과 위상을 나타내며, 위상은 $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 가진다고 가정한다. 진폭 변조의 임계전압 V_0 는 식 (3)에 주어진다.

$$U(V) = \begin{cases} V & \text{for } V \geq V_0 \\ 0 & \text{for } V < V_0 \end{cases} \quad (3)$$

또한 마그네트론에 구동되는 전압 $V(t)$ 는 트랜스포머 형태인 경우, 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$V(t) = \cos(2\pi f_v t) \quad (4)$$

식 (4)에서 f_v 는 교류 전원의 주파수이다.

그림 5는 위에서 언급한 전자레인지의 동작 원리를 고려하여 발생하는 잡음을 FM 변조와 AM 변조를 이용한 모델링을 보여주며, 이는 신호 발생기를 이용하여 간단하게 구현할 수 있다.

일반적으로 트랜스포머 타입의 전자레인지의 경우, 위에서 언급한 파라미터는 표 1과 같이 나타난다^[4].

그림 6은 전자레인지 잡음의 모델링 신호를 신호 발생기로 재현하고, 이를 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정된 신호이다. 그림 6의 (a)는 중심 주파수 2.45

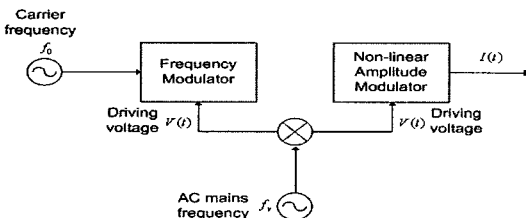
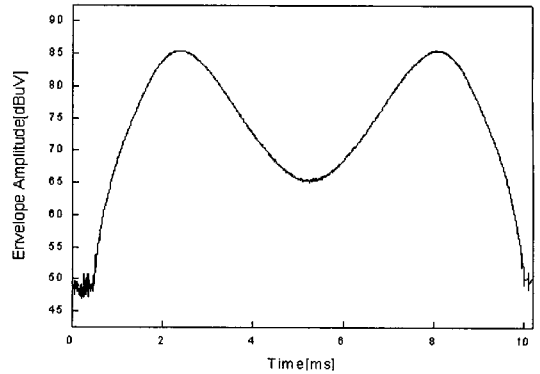
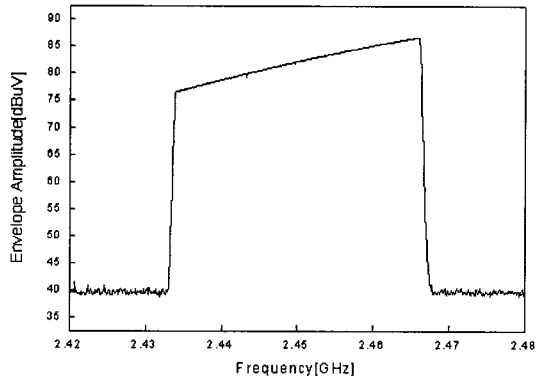


그림 5. 전자레인지 잡음 모델
Fig. 5. Model of the microwave oven noise.



(a) 시간 영역(at 2.45 GHz)
(a) Time domain(at 2.45 GHz)



(b) 주파수 영역
(b) Frequency domain

그림 6. 전자레인지 모의 잡음 측정값
Fig. 6. Measured values of microwave oven noise modeled.

표 1. 전자레인지 잡음 파라미터
Table 1. Noise parameter of the microwave oven.

AC mains frequency: f_v	50 Hz
Threshold voltage: V_0	0.3
Carrier frequency: f_0	2.42 GHz
Frequency deviation: f_{\max}	43 MHz
Amplitude: I_0	28.7 mV

GHz에서 span=0으로 하여 시간 영역의 신호를 얻었으며, 그림 6의 (b)는 주파수 영역에서 최대값 유지 모드로 측정하였을 때 얻은 포락선이다.

IV. 간섭 영향 분석

그림 7은 전자레인지 잡음과 IEEE 802.11b 간의

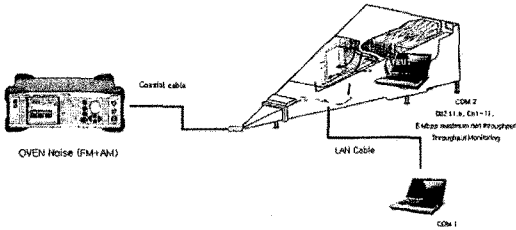


그림 7. 전자레인지 잡음과 무선 랜과의 상호 간섭 측정도

Fig. 7. Setup for interference measurement of microwave oven noise and wireless LAN.

상호 영향 분석을 위한 실험 개략도이다. 신호 발생기는 모의 전자레인지 잡음을 발생시켜 GTEM cell의 입력 신호로 사용되며, 외부의 간섭을 최소로 하기 위해서 GTEM cell 내부에 무선 노트북과 AP를 두고 무선으로 접속시킨다. 또한 외부의 노트북에 LAN 케이블을 이용하여 AP와 연결한다. 802.11b 무선 링크를 이용하여 데이터를 전송하고 GTEM cell 내부 EUT에서 전송되는 Throughput를 측정하고 이로부터 APD 곡선을 구한다. APD 곡선은 특정 임계값보다 클 확률 분포를 의미한다.

그림 8은 IEEE 802.11b의 채널별 주파수 분포도와 전자레인지 잡음의 점유 주파수 분포를 나타내고 있다^[6]. 그림 8에서 보면 무선 랜의 채널 1번, 2번, 3번은 전자레인지의 잡음과 공유하는 대역폭이 전혀 없고, 채널 8번, 9번은 100%의 공유 대역폭을 가진다. 나머지 채널들의 대역폭은 일부 공유하는 스펙트럼을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 전자레인지 잡음과 무선 랜의 채널이 일부 혹은 완전히 공유 대역폭을 가지는 채널에 대해서 전자레인지의 잡음을 각 채널의 중심 주파수에서 시간 영역 파형을 측정된 결과이며, 보는 바와 같이

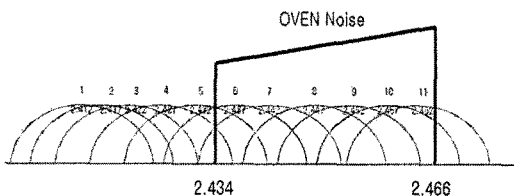


그림 8. 전자레인지 잡음과 무선 랜의 주파수 대역
Fig. 8. The frequency bands of microwave oven noise and wireless LAN.

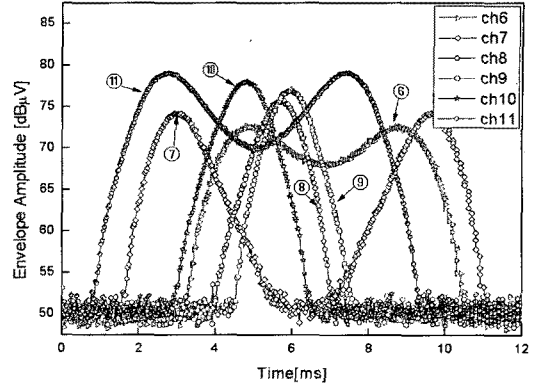


그림 9. 시간 영역에서의 전자레인지 잡음 파형
Fig. 9. The waveform of microwave oven noise in time domain.

채널의 중심 주파수에 따라 전자레인지의 잡음의 시간 점유율과 진폭 크기가 다름을 알 수 있다.

표 2는 IEEE 802.11b의 채널별로 전자레인지 간섭 잡음의 주파수 영역에서의 점유 대역폭, 시간 영역에서의 시간 점유율과 최대값을 정리하여 나타내었다.

그림 10은 전자레인지의 잡음이 GTEM cell에 입력되어진 경우, 802.11b의 채널별로 간섭 영향을 확률 분포로서 나타낸 결과이다. 결과를 채널별로 분석을 해보면 먼저 채널 1번, 2번, 3번에 대해서는 IEEE802.11b에서 권장하는 5.5 Mbps 속도 이상이 될 확률이 90%가 됨을 보여주며, 이는 공유 대역폭이 전혀 없는 대역이므로 상호 영향 간섭이 없음을 나타낸다. 또한, LAN 채널의 주파수 대역폭이 전자레인지의 잡음과 점유하는 대역폭이 넓을수록 Throughput이 대체적으로 낮아짐을 확인할 수 있다. 하지만 채널 8번과 9번의 경우를 보면 잡음과의 공유 대역폭이 100%이지만 대역폭을 일부만 공유하는 채널보다 높은 throughput을 보이고 있다. 왜냐하면 표 2에서 나타나는 시간 영역에서의 점유율을 보았을 때 2.9 ms 정도의 시간 점유율을 가지며 이는 공유 대역폭은 다른 채널에 비해 크지만 시간 점유율이 다른 채널에 비해 적기 때문에 간섭 영향이 다른 채널에 비해 적다는 것을 나타낸다. 채널 11번의 경우, 공유 대역폭이 약 60% 정도 되지만 시간 점유율과 진폭의 크기가 각각 8.37 ms와 79 dBμV로 크기 때문에 간섭 영향이 아주 심하게 받는 것을 알 수 있다. 본

표 2. 무선 랜 채널별 전자레인지의 간섭 파라미터
Table 2. Parameter of microwave oven noise interference to wireless LAN channels.

채널	공유 대역폭(%)	시간 점유율(ms)	최대값(dB μ W)
Ch 6	64	7.11	72.72
Ch 7	86	7.06	74.24
Ch 8	100	2.9	75.71
Ch 9	100	2.9	77.13
Ch 10	86	3.38	78.11
Ch 11	64	8.37	79.13

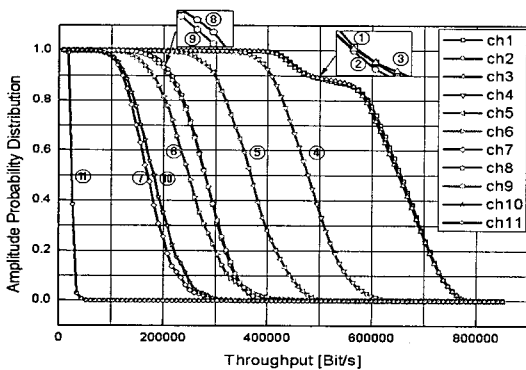


그림 10. 전자레인지와 무선 랜의 상호 간섭의 진폭 확률 분포도

Fig. 10. APD of the measured interference between microwave oven noise and wireless LAN.

연구에서의 결과를 볼 때 전자레인지의 잡음은 시간에 따라 진폭의 변화와 주파수 천이가 일어나면서 발생하기 때문에 무선 랜과의 상호 간섭 영향을 분석했을 때 주파수의 상호 공유 대역폭뿐만 아니라 시간 영역에서의 시간 점유율과 진폭의 크기에 따라 통신의 성능이 평가된다.

V. 결 론

본 논문에서는 전자레인지의 잡음과 무선 랜의 상호 영향을 분석하기 위해서 전자레인지 신호 발생 원리를 이용하여 진폭 및 주파수 변조를 통해 잡음을 모델링하였다. 또한 특성 평가를 위한 환경을 구현하기 위해서 GTEM cell을 이용하였고, GTEM cell 내부에서 균일한 전기장을 발생시키기 위해서 보정 계수를 이용하여 주파수 영역에서의 균일한 전기장

평가와 시간 영역에서의 펄스 입력에 대해서 영향을 평가하였다. 구현된 환경을 이용하여 무선 랜의 각 채널에 대해서 전자레인지 잡음 영향 분석은 전송 throughput을 모니터링 하고 진폭 확률 분포를 이용하여 LAN 채널별로 확인하였다. 측정 결과, 주파수 영역에서 공유 대역폭이 전혀 없는 1번, 2번, 3번 채널의 경우 5.5 Mbps 이상의 throughput을 보일 확률이 90% 이상이지만, 이의 채널은 전자레인지 잡음 대역폭과 LAN 채널의 대역폭이 겹칠수록 throughput이 낮을 확률이 높게 나타난다는 것을 알 수 있다. 하지만 채널 8번과 9번은 7번, 10번, 11번 채널과 비교하여 공유 대역폭이 넓지만 throughput은 1 Mbps 이상 높다. 이는 전자레인지 잡음이 갖는 시간 영역에서의 점유율 때문이며, 주파수 영역에서의 잡음 대역폭보다 시간 영역에서 발생하는 잡음 대역폭이 LAN 전송 throughput에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Yamanaka, T. Shinozuka, "Statistical parameter measurement of unwanted emission from microwave ovens", *IEICE Technical Report, EMCJ94-29*, Sep. 1994.
- [2] N. Mingxin, L. Ling, "Simulation of microwave oven interference on digital radio communication systemsk", *Proc. 3rd Int. Symp. on EMC*, pp. 513-516, May 2002.
- [3] H. Kanemoto, S. Miyamoto, and N. Morinaga, "Modeling of microwave oven interference using class-A impulsive noise and optimum reception", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 5, pp. 670-677, May 1997.
- [4] Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, "A time-domain microwave oven noise model for the 2.4 GHz band", *IEEE Trans. EMC.*, vol. 45, no. 3, pp. 561-566, Aug. 2003.
- [5] IEC 61000-4-3, "Electromagnetic Compatibility, Part 4: Testing and measurement techniques, Section 3: Radiated radio frequency, electromagnetic field immunity test", *Edition 2.1*, 2002.

[6] M. Tokuda, K. Ichikawa, Y. Honma, and M. Kitora, "Radio wave interference test method for wireless communication system by opened parallel wired cell", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E88-B, no. 8, pp. 3242-3248, Aug. 2005.

[7] M. Heidemann, H. Garbe, "Using TEM waveguide according to the new IEC 61000-4-20", *IEEE Int'l. Symp. Electromagnetic Comp.*, vol. 1, pp. 457-460,

May 2003.

[8] J. W. Gewartowski, H. A. Watson, *Principles of Electron Tubes*, Van Nostrand, New York, 1965.

[9] IEEE, "IEEE Std.802.11b-1999 Wireless LAN medium access control and physical layer specifications: higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band", *IEEE Std. 802.11b-1999*, 1999.

정 연 준



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)
 1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)
 1999년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년 12월~2001년 5월: 한국표준

과학연구원 전자기환경그룹 책임연구원, 그룹장
 2000년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics
 2001년 6월~2002년 2월: (주)AMIC 중앙연구소장, 부사장
 2002년 3월~현재: 서경대학교 전자공학과 교수
 2005년 6월~2008년 11월: 한국전파진흥협회 EMC 기술지원센터 센터장
 [주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술, 전자파 재료

권 석 태



2007년 2월: 서경대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2007년 4월~현재: 한국전파진흥협회 EMC 기술지원센터
 [주 관심분야] 시스템 레벨의 EMC, EMI/EMC 측정

전 상 봉



2001년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 8월: 영남대학교 전자공학과 (공학박사)
 2008년 6월~현재: 한국전파진흥협회 EMC 기술지원센터

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술, 전자파 수치해석

윤 재 훈



1984년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 8월: 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

2002년 2월~현재: ETRI Journal 편집위원
 2006년 2월~현재: UST 이동통신/디지털방송학과 교수
 2008년 4월~현재: 안전한 전자파환경 조성, 사업책임자
 [주 관심분야] 표준전자파발생기술, EMI/EMC, 안테나 측정기술, 전자파 환경기술