

EMC 최근 기술 동향

전자파 장애 평가 모델

박승근 · 박상명 ·
전상봉 · 심용섭
한국전자통신연구원

I. 서 론

우리 사회는 언제, 어디서나, 무엇이라도, 누구라도, 유선 및 무선 네트워크에 접속되는 유비쿼터스 통신을 지향하고 있다. 특히, ‘0’과 ‘1’의 바이너리 정보를 전자기 파형으로 구별하여 송수신하는 디지털 통신 기술은 급격히 발전하였다. 이러한 디지털 통신 기술의 보급에 따라, 우리 일상생활 공간은 무선 랜, 휴대전화 등 무선기기의 의도적 복사 전자기파와 평판 TV, 마우스 등 전자기기의 비의도적 복사 전자기파가 동시에 근접하여 형성되는 전자파 밀집 공간을 고려해야 한다.

위와 같이 무선기기와 전자기기가 공존하는 전자파 밀집 공간 속에서 상호 간의 양립성 확보를 위하여 국제표준기관 IEC CISPR 및 TC77에서는 무선기기의 전파 간섭과 전기·전자기기의 오작동을 피할 목적으로 전자파 장애 허용치, 전자파 내성 규격, 측정기기, 시험장의 조건, 표준 측정 방법 등을 마련하여 왔다. 그러나, 기존 CISPR 규격은 아날로그 통신의 보호 측면에서만 마련되어, 디지털 통신의 보호를 위한 분석이 요구된다.

최근 국내에서는 CISPR 주도의 글로벌 전자파 적합성 제도 속에서 국제 규격 CISPR에서 제시된 허용치와 측정 방법을 그대로 준용하고 있는 단계를 벗어나 국내 전파 환경 및 신규 IT 기기를 고려해야 한다는 의견과 사례들이 제시되고 있다. 국내 전파

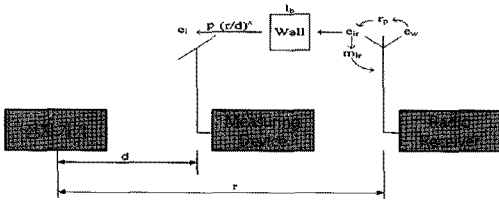
환경을 고려한 대표적인 예로는 2.4 GHz 플라즈마 조명 시스템으로부터 국내 2.3 GHz 와이브로 서비스 보호를 위하여 국제 규격 CISPR 11을 개정한 국내의 독자적인 규격 K 11이 있다. 또한, CISPR I 그룹에서는 국내 업체들이 생산하는 PDP 평판 TV에 대하여 주파수 30 MHz 이하의 복사 노이즈 규제 의견이 제시되고 있다.

그러므로 본 글에서는 국내 디지털 통신 보호와 국내 IT 기기 특성을 반영한 신규 CISPR 규격 마련에 바탕이 되는 전자파 장애 평가 기술을 확보하는 차원에서 국내에 CISPR의 복사 강도 허용치 산출, IEEE 저널 등에서 제시한 최신 전자파 장애 평가 방법들을 간단히 소개한다.

II. CISPR의 전자파 장애 평가 모델

CISPR에서는 무선기기에 대한 전자기기의 복사 노이즈 평가 모델을 이용하여 다양한 복사 전자파 장애 허용치를 정하고 있다. [그림 1]은 CISPR의 복사 전자파 장애 평가 모델을 보여주고 있는 것으로서, 전자기기와 측정기기의 거리(3 m, 10 m)가 전자기기와 무선 수신기의 거리보다 근접된 전파 간섭 시나리오를 적용하고 있다^[1].

<표 1>은 CISPR의 전자파 장애 평가 모델에 이용되는 파라미터를 설명한 것으로서, 이를 바탕으로 전자기기의 복사 강도 허용치는 식 (1)에 의해서 결정



[그림 1] CISPR의 전자파 장애 평가 모델 개념도

여기서, 기호 m 와 s 는 각각 평균과 표준 편차를 의미하고, 각 첨자는 <표 1>에 나온 파라미터를 표현하고 있다. t_a 와 t_b 는 0.84~0.95 값을 가지고, 표준 편차 s_R 는 식 (3)과 같다.

$$s_R = \sqrt{s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gt}^2 + s_{L0}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mfr}^2} \quad (3)$$

<표 1> 평가 모델 파라미터

기호	설명
e_w	무선 수신기 안테나에 수신된 원하는 신호
e_{ir}	무선 수신기 안테나에 허용되는 간섭 신호
r_p	보호비(신호-대-잡음비)
e_i	전자 기기의 복사 강도 허용치
m_w	무선 수신기 안테나 편파와 간섭 신호 편파의 보정
l_b	빌딩이나 다른 장애물 등의 차폐
d	전자 기기와 측정 기기간의 거리(m)
r	전자 기기와 무선 수신 기기간의 거리(m)
x	전파 경로의 감쇠 계수

<표 2>는 식 (2)와 (3)을 이용하여 전자기기의 복사

<표 2> CISPR 평가 모델에 의한 허용치 계산

전자 기기와 측정 기기간의 거리 d	
3 m	
전파 경로의 감쇠 계수(1 or 1~1.5)	
1	
t_a, t_b	
0.84	
원하는 신호의 전계 강도 E_w	
평균 m_w	표준 편차 s_w
68.45 dB(μ V/m)	8 dB
원하는 신호의 안테나 이득 G_w	
평균 m_{Gw}	표준 편차 s_{Gw}
4 dB	3 dB
장애물 손실 L_b	
평균 m_{Lb}	표준 편차 s_{Lb}
1 dB	3 dB
전자기기의 방해 신호 표준 편차 s_i	
3 dB	
전자 기기와 무선 기기간의 거리 r	
20 m	
보호비 R_p	
9 dB	
원치않는 신호의 수신 안테나 이득 G_i	
평균 m_{Gi}	표준 편차 s_{Gi}
4 dB	3 dB
경로 손실 $L_0=20 \times \log_{10}(r/d)^x$	
평균 m_{L0}	표준 편차 s_{L0}
16.48 dB	3 dB
안테나 편파 일치 M_{fr}	
평균 m_{Mfr}	표준 편차 s_{Mfr}
2 dB	3 dB
전자기기의 복사 강도 허용치 E_i	
72.32 dB μ V/m	

된다.

식 (1)과 같이 전자기기의 복사 강도 허용치는 무선기기의 수신 신호 세기 및 보호비, 주변 전파의 차폐 수준, 편파 및 전파 경로 특성, 측정 거리 등이 반영되어 산출된다.

$$e_i = [(e_w/r_p)m_w l_b (r/d)^x] \quad (1)$$

CISPR는 식 (1)에 로그를 취한 값이 평균과 표준 편차를 가지는 가우시안 분포로 가정하고, 가우시안 확률 변수들의 합은 가우시안 분포를 따르는 확률 성질을 이용하여 통계적인 해석 방법에 의한 전자기기의 복사 강도 허용치 E_i [dB μ V/m]를 식 (2)와 같이 제시하고 있다.

$$E_i = m_w + m_{Gw} + m_{Gi} + m_{L0} + m_{Lb} - m_{Mfr} - R_p + t_b s_i - t_a s_R \quad (2)$$

강도 허용치의 산출 예를 보여주고 있다.

III. Amplitude Probability Distribution을 이용한 디지털 전자파 장애 평가

최근 IEEE 저널에서는 전자파에 의한 디지털 통신의 영향 평가 방법으로 간섭 신호의 진폭 분포를 이용하는 APD(Amplitude Probability Distribution) 기법이 소개되었다. 식 (4)는 APD 곡선의 수학적인 표현을 보여주고 있는 것으로, 누적 확률 분포의 역으로 계산되는 특징이 있다^{[2],[3]}.

$$APD(x) = \Pr\{x < X \leq \infty\} \\ = 1 - \Pr\{-\infty < X \leq x\} \quad (4)$$

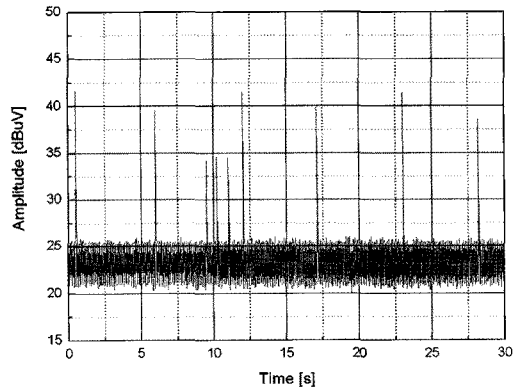
그리고 CISPR 16-1-1 규격에서는 장애에 대한 APD를 “장애 진폭이 규정 레벨을 초과하는 시간 확률”이라고 규정하고 있다. [그림 2]는 시간 영역에서 측정된 임펄스 잡음과 APD 곡선의 특징을 잘 보여주고 있다. 즉, 임펄스인 경우에는 방해파의 APD 곡선에 눈에 띄는 기울기의 변화가 있다.

또한, 방해파의 APD 측정은 전자파 장애원의 특징을 파악에 많은 도움을 준다. [그림 3]은 전력선 통신 케이블로부터 복사되는 방해파의 진폭을 APD로 측정된 것이다. [그림 3]을 보면, APD 곡선의 기울기가 큰 변화가 없이 일정하게 감소하므로, 전력선 통신의 복사 노이즈 진폭은 가우시안 확률 분포라고 해석할 수 있다.

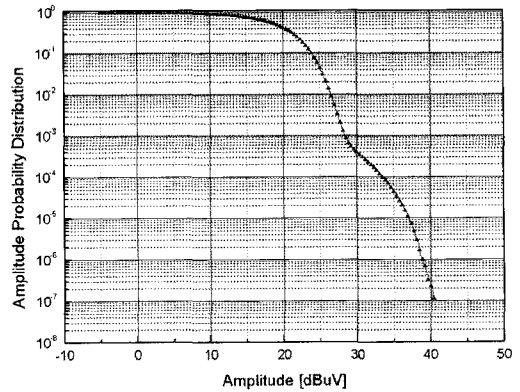
IEEE 논문에서는 가우시안 채널 환경에서 공통 간섭 신호가 있는 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조의 BER(Bit Error Rate) 확률 계산식을 식 (5)와 같이 제시하고 있다^[4].

$$P(E) = \Pr[\sqrt{E_b} + r \cos\varphi < 0 | \varphi : \pi/2 \leq \varphi \leq 3\pi/2] \\ = APD_R(-\sqrt{E_b}/\cos\varphi) \quad (5)$$

여기서, 기호 γ 과 φ 는 각각 간섭 신호의 진폭과



(a) 시간 영역의 임펄스

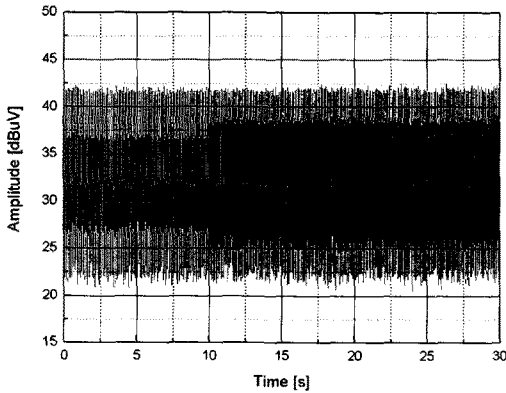


(b) 임펄스의 APD 측정

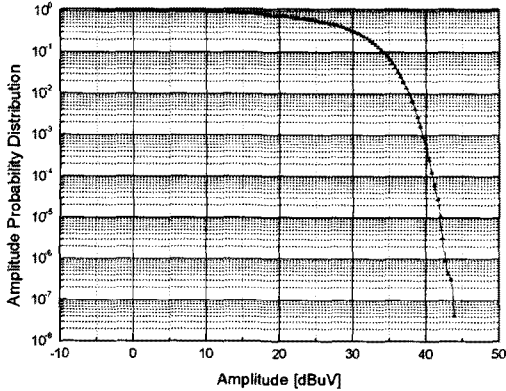
[그림 2] 임펄스의 시간 영역 측정과 APD 곡선과의 관계

위상이다. <표 3>에서는 가우시안 채널 환경에서의 다양한 디지털 변조에 대한 최대 BER, $P_{b,max}$ 이 전자 기기의 방해파 신호 APD 곡선과 수신 비트 신호 에너지 $\sqrt{E_b}$ 의 함수로 표현할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

<표 3>은 QPSK, PSK, QAM, FSK 등 대표적인 디지털 변조의 최대 BER와 방해파의 APD 곡선과의 관계를 보여주고 있다. <표 3>에서 제시된 바와 같이, 가우시안 채널 환경에서 디지털 변조의 최대 BER $P_{b,max}$ 를 고정하면, 측정된 방해파의 APD 곡선으로 디지털 통신의 보호에 요구되는 전자기기의 전계 강도 허용치를 산출할 수 있다.



(a) 전력선 통신 케이블로부터 복사되는 노이즈의 진폭 측정



(b) 전력선 통신의 복사 APD 측정

[그림 3] 전력선 통신의 복사 노이즈에 대한 APD 곡선

<표 3> 디지털 변조별에 대한 최대 BER $P_{b,max}$ 의 APD 함수 표현

디지털 변조	$P_{b,max}$ 의 APD 표현
BPSK	$P_{b,max} \approx APD_R(\sqrt{E_b})$
QPSK	$P_{b,max} \approx 1/2 APD_R(\sqrt{E_b})$
8-PSK	$P_{b,max} \approx 1/3 APD_R(0.66 \sqrt{E_b})$
16-PSK	$P_{b,max} \approx 1/4 APD_R(0.39 \sqrt{E_b})$
16-QAM	$P_{b,max} \approx 1/4 APD_R(0.63 \sqrt{E_b})$
64-QAM	$P_{b,max} \approx 1/6 APD_R(0.38 \sqrt{E_b})$
2-FSK	$P_{b,max} \approx APD_R(0.71 \sqrt{E_b})$
4-FSK	$P_{b,max} \approx 1/3 APD_R(\sqrt{E_b})$

IV. 주파수 30 MHz 이하의 전자파 장애 평가 방법

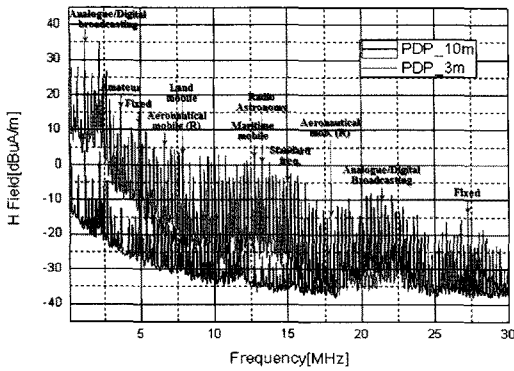
대부분 주파수 30 MHz 이하에서 측정되는 방해원의 복사 노이즈는 높은 임피던스의 안테나를 이용하는 방송국 등을 제외하고는 자체 전파원으로 간주하고 있다. 따라서 30 MHz 이하의 전자파 장애 평가는 다음과 같은 순서로 구성된다^[5]. ① 방해원에서 일정 거리 떨어진 지점의 자체 다이폴 모멘트를 측정한다. ② 측정된 자체 다이폴 모멘트를 이용하여 방해원의 실효 복사 전력(Effective Radiated Power: ERP)로 계산한다. ③ 계산된 방해원의 ERP로부터 거리별 전계 강도를 산출하여 방해파의 전계 강도 허용치와 비교한다. ④ 비교한 결과에 의해서 상호 양립성할 수 있는 이격 거리를 도출한다. <표 4>는 상기의 과정에 필요한 자체 전파원의 ERP 계산식을 보여주고 있다.

[그림 4]는 주파수 30 MHz 이하에서 측정된 플라즈마 디스플레이 평판(Plasma Display Panel: PDP) TV의 복사 노이즈와 각 주파수별 전파 통신 서비스를 보여주고 있다.

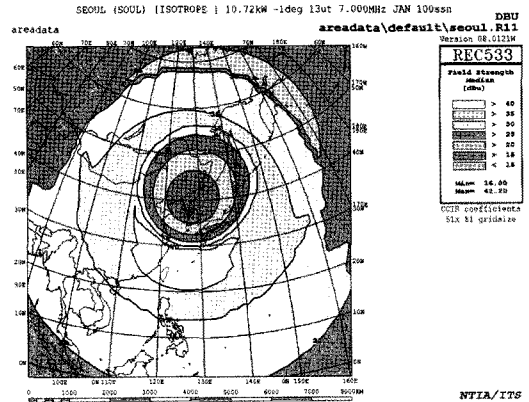
위에서 언급한 측정된 자체 다이폴 모멘트를 이용한 평가 방법에 따라 PDP TV와 AM 방송 수신기 간의 상호 양립성을 할 수 있는 거리를 산출하면,

<표 4> 자체 전파원의 ERP 계산식

Magnetic dipole moment [$A \cdot m^2$]
• Near-field $m = H \frac{2\pi(\lambda/2\pi)d^3}{\sqrt{(\lambda/2\pi)^2 + d^2}}$ H: 측정된 자계(A/m) λ: 파장, d: 측정 거리(m)
• Far-field $m = H \frac{4\pi(\lambda/2\pi)^2 d^3}{\sqrt{(\lambda/2\pi)^4 - (\lambda/2\pi)^2 d^2 + d^4}}$
ERP [dBkW]
$P = 10 \log_{10} \left(\frac{20}{(\lambda/2\pi)^4} m^2 \right) - 30$



[그림 4] PDP TV의 복사 노이즈 측정



[그림 5] Skywave propagation 특성

<표 5>와 같이 계산된다.

주파수 30 MHz 이하의 전자파 장애 평가를 할 경우에는 전리층에 의한 skywave 전파 특성을 반드시 고려해야 한다. 현재 ITU-R에서는 skywave 전파 프로그램을 제공하고 있다. [그림 5]는 ITU-R의 skywave 전파 프로그램을 이용한 결과로서, 서울 지역에 방해원의 위치할 경우에 전리층의 반사 효과로 인하여

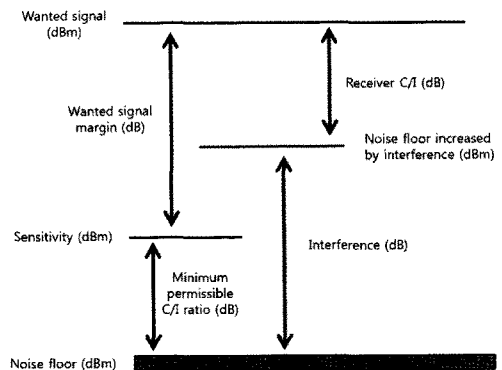
대만 지역의 전계 강도 수준이 40 dBuV/m 이상으로 서울 지역의 15 dBuV/m 이상 전계 강도 수준보다 높게 관측된다.

V. 전자파 장애 판단 기준

전자파 장애 평가 방법에서 중요한 것 중 하나는 간섭 여부를 판단하는 기준이다. 지금까지 전자기기의 방해파에 의한 디지털 통신의 성능 열화를 객관적으로 판단할 수 있는 통일된 기준은 알려져 있지 않지만, ITU-R에서는 [그림 6]과 같이 C/I, C/(N+I), I/N, N/(N+I) 등을 이용하고 있다. 여기서, C는 수신

<표 5> PDP TV와 AM 방송 간의 양립성 확보를 위한 최소 이격 거리

AM 방송의 주파수
1 MHz
측정거리
10 m
PDP TV의 복사 자체 노이즈 세기
35 dBuA/m
$E_{1kW}@1 \text{ km}$ (ITU-R PN.368-7)
120 dBuV/m
AM 방송 최대 허용 간섭 수준 (ITU-R BS.703)
40 dBuV/m
ERP
-93.4 dBkW (-33.4 dBm)
PDP TV와 AM 방송간의 양립성 이격 거리
55 m



[그림 6] 전자파 장애 판별 기준

된 원하는 전력이고, I 는 수신된 방해파의 전력이며, N 은 열잡음과 외부로부터 수신된 주변의 전파 환경 잡음이다. 현재 CISPR의 전자파 장애 평가 모델에서는 C/I 를 이용하고 있고, ITU-R에서는 GPS 등 무선 항행, 인명 및 안전 서비스의 보호비로 $I/N = -20$ dB를 고려한다.

위와 같이 전자파 장애 판별 기준은 다양하므로, 전자파 장애 평가에 앞서 간섭 기준을 사전에 합의 하는 것은 매우 중요하다.

VI. 결 론

본 글에서는 전자파 밀집 공간에서 전자기기와 무선기기의 상호 양립성을 위한 전자파 장애 평가 방법을 간단히 살펴보았다. 특히, 국내 디지털 통신 보호와 국내 IT 기기 특성을 반영한 신규 CISPR 규격 마련에 필수적으로 요구되는 CISPR의 복사 강도 허용치 산출 방법, 디지털 변조와 방해파 APD 곡선과의 관계, 주파수 30 MHz 이하의 전자파 장애 평가 기법, 방해파의 ITU-R 전파 간섭 판단 기준 등을 소개하였다.

참 고 문 헌

- [1] CISPR, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods", *IEC/CISPR Technical Report 16-4-4*, 2nd ed., Jul. 2007.
- [2] 박상명, 전상봉, 박승근, "전자레인지 잡음신호의 진폭확률 분포를 이용한 무선랜의 전송속도 분석", 2011년도 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문 초록집, 44(1), p. 95, 2011년 2월.
- [3] Sangbong Jeon, Yeon-Choon Chung, Change-Han Jun, Suk-Tai Kwun, Jae Hoon Yun, and Sangho Choi, "Evaluation of interference between microwave oven noise and IEEE 802.11b using a GTEM cell", *Piers Online*, vol. 5, no. 6, pp. 571-575, 2009.
- [4] Kia Wiklundh, "Relation between the amplitude probability distribution of an interfering signal and its impact on digital radio receivers", *IEEE Tran. on EMC*, vol. 48, no. 3, pp. 537-544. Aug. 2006.
- [5] ETRI, "U-사회 전파환경 보호를 위한 전자파양립성 연구", 발표자료, 2011년 3월.

≡ 필자소개 ≡

박 승 근



1991년 2월: 고려대학교 응용통계공학과 (이학사)
1993년 8월: 고려대학교 응용통계공학과 (이학석사)
2004년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)
1993년 8월~현재: 한국전자통신연구원

책임연구원

[주 관심분야] 디지털통신, 스펙트럼공학, 전자파 양립성

전 상 봉



2001년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 8월: 영남대학교 전자공학과 (공학박사)
2008년 6월~2010년 9월: 한국전파진흥

협회 EMC 기술지원센터

2010년 10월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술, 전자파수치해석

박 상 명



2005년 2월: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)
2008년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2008년 7월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀

[주 관심분야] EMI/EMC, SAR

심 용 섭



2005년 2월: 공주대학교 전기전자정보공학과 (공학사)
2010년 2월: 공주대학교 전기전자정보공학과 (공학석사)
2010년 9월~현재: 한국전자통신연구원 위촉연구원

2011년 3월~현재: 공주대학교 박사과정

[주 관심분야] RF 시스템, 전파 간섭, EMC