

부하선로가 긴 LED 조명기기의 복사성 방출 측정  
표준화 연구

금홍식 · 최상호 ·  
양준규\* · 김인석\*\*  
한국전파진흥협회  
전자파기술원 · \*국립전파  
연구원 · \*\*경희대학교

I. 서 론

최근 LED(Light Emitting Diode, 발광 다이오드) 조명은 세계 각국의 에너지 절감과 기후변화에 대처하기 위한 녹색기술 중의 하나로 각광을 받고 있다. 왜냐하면 조명분야는 전체 전력 소비량의 약 20% 정도를 차지할 정도로 에너지 절감 영향력이 큰 산업 분야이고, 1879년 토마스 에디슨(Thomas Edison)에 의해 발명된 이래 백 년 동안 조명 시장의 대표 주자였던 백열등이 지구 온난화의 주범 중 하나로 지목되어 2012년부터 세계 각국에서 강제로 퇴출될 정책이 발표되었고, 이 백열등을 대체할 차세대 광원으로 LED 조명이 주목받았기 때문이었다.

LED는 기존의 광원 대비 월등한 고효율과 저 전력 소모, 반영구적인 수명, 빠른 응답속도, 친환경성(무수은) 등의 장점으로 기존의 다양한 조명기구들이 대체되고 있는 실정이다. 또한 휴대폰, LCD TV, 모니터 등의 Back Light Unit(BLU), 자동차 · 선박 조명, 옥외전광판 및 신호등 등의 정보 display 분야로도 그 이용이 계속 확대하고 있다.

기술적으로, LED 조명은 고효율 제어를 위하여 스위칭 구동회로를 사용하게 되는데, 이로 인해 기존 조명과는 달리 비의도적으로 전자파가 발생하는 원인을 내포하게 된다. 따라서 적절한 전자파 관리를 하지 않으면 무선 서비스나 주변 기기에 전자파

간섭을 유발할 수 있다<sup>[1]</sup>. 이를 방지하기 위한 조명기기의 전자파 방출 규격은 국제무선장해특별위원회(CISPR)에서 CISPR 15로 규정되고 있고, 우리나라에서도 이를 수용하여 제정된 KN 15 조명기기에 관한 전자파 적합성 기준 및 시험방법에 따라 관리되고 있다.

다양한 조명분야가 LED 조명으로 대체되면서 일반적인 조명기기의 형태와 다른 응용 예도 증가하고 있다. 특히, MR16형 할로겐램프 대체용 LED 램프나 막대형 LED 모듈 램프(국제표준화기구에서는 ELV (Extra Low Voltage) LED 램프라 통칭함)의 경우, 하나의 컨버터에 여러 개의 저전압 LED 램프를 긴 부하선로로 연결하는 응용예가 있으며, 이러한 경우 긴 부하선로를 통해 전자파가 비의도적으로 방출되는 문제가 있으며, 이에 대한 관리의 필요성도 증가하고 있다.

본 논문에서는 생활환경에서 볼 수 있는 ELV LED 조명 이용 시 전자파가 방출되는 예와 국제표준화 회의에서 제기된 전자파 간섭에 대한 예를 살펴보고, 그리고 조명기기에 대한 국제표준 CISPR 15에서 다루고 있는 전자파 방출 측정 방법에 대하여 살펴보고, 이를 보완하기 위한 국제표준화 대응 연구 내용에 대하여 살펴보고자 한다.

II. LED 조명기기의 전자파 방출 문제

2-1 국내 현황

본 연구는 방송통신위원회의 지원을 받는 방송통신표준기술력향상사업의 연구 결과로 수행되었음

국립전파연구원에서는 안전한 전자파 환경 조성을 위하여 EMC 기준전문위원회 및 소위원회를 통해 전자파 적합성 관련 국내의 현황 및 국제표준화 동향 분석, 전자파 적합성 측정·분석을 실시하고 현행 우리나라 기준 및 시험방법의 미비점 및 개선 방안, 개정 초안을 도출하고 있다. 2010년부터 LED 조명등에 대한 전자파 적합성 측정 분석 활동을 통하여 LED 조명의 전자파 방출 현상을 확인하였고, 그 전자파 발생원이 LED 구동을 위한 스위칭 회로이며, 이 스위칭 구동 주파수의 고조파가 방출됨을 확인하였다. 또한, MR16형 LED 램프와 같이 구동 컨버터(또는 트랜스포머)를 별도로 사용하는 경우, 이 컨버터와 램프를 연결하는 부하선로의 길이가 전자파 방출에 밀접하게 연관됨을 확인하였다<sup>1)</sup>.

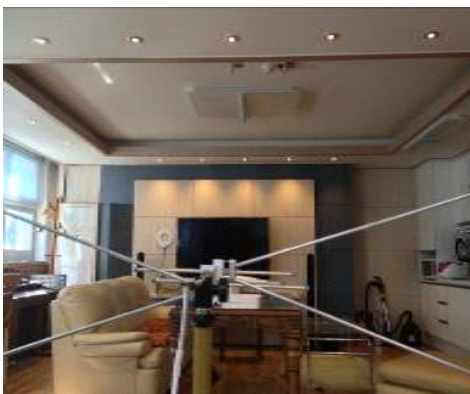
그리고 가정에 설치된 전기·전자 기기에서 발생하는 전자파 레벨이 적합성 기준을 만족시키는지 여부를 측정·조사하기 위하여 [그림 1] (a)와 같이 가정환경에 MR16형 다중 저전압 LED 조명기기를 설치하여 측정된 바 [그림 1] (b)와 같이 많은 잡음이 방출되는 것을 확인하였다. 100~600 MHz 대역까지 1 m에서 측정된 전기장의 세기가 최고 65 dB  $\mu$ V/m로 주변 잡음보다 상대적으로 높은 값이 측정되었고,

방송 통신 서비스와의 간섭을 확인한 결과, 조명을 켜면 아날로그 TV 화면에 잡음이 발생하였고 디지털 TV 화면에는 간섭이 없었다. 또한, 근래에 LED 조명의 활용이 높은 분야 중 하나인 광고용 백라이트 응용에 대한 전자파 적합성을 조사하기 위하여 대형 LED 조명 광고판이 밀집 설치되어 있는 지하철 역사 내 환경을 선정하였다. 측정 조사 활동을 통하여 [그림 2]와 같이 광고판 안에 설치된 다중 ELV LED 조명기기에서 많은 노이즈가 방출됨을 확인하였다. 30~600 MHz 대역까지 3 m에서 측정된 전기장의 세기가 최고 58 dB  $\mu$ V/m로 주변 잡음보다 상대적으로 높은 값이 측정되었다.

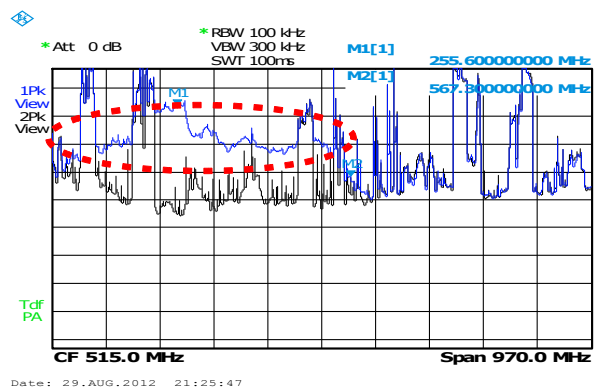
이러한 전자파는 LED 램프 구동 회로에서 방출되는 잡음과 조명 전원장치(converter)의 부하단자에서 발생하는 잡음이 혼합되어 발생하는 현상으로 판단된다.

## 2-2 국제 현황

국제아마추어무선연맹은 2011년 CISPR 서울총회에서 LED 조명기기가 아마추어 무선 수신에 간섭을 일으킨다는 내용을 보고하였고, 2012년 1월에 관련 상세보고서를 제출하였다. 간섭의 주 발생원은 특정



(a) 가정환경 전자파 측정



(b) LED 조명에 의한 전자파 방출 측정 결과(실내 1 m)

[그림 1] 다중 ELV LED에 의한 전자파 방출 측정 결과

형태의 ELV(즉 12 V) LED 램프이고, 이에 대한 CISPR 15 규격의 요구조건이 명확하지 않으므로 ELV LED 램프와 관련된 규정을 신속히 만들 것을 요구하였으며, 이 문서는 CISPR/F/565/INF로 각국에 회람되었다<sup>[2]</sup>.

이에 CISPR F소위원회는 ELV LED 램프에 대한 요구조건을 규정하여 각국에 회람하고 의견을 구하였다. 이 문서에서 ELV LED 램프는 지정된 트랜스포머 또는 할로겐램프용 전자 컨버터 및 원추형 금속 합체를 사용하여 측정하며, 트랜스포머와 램프 일체형으로 시험하여 주전원 포트 방해 전압 기준과 복사성 방해 기준을 만족하도록 규정하고 있다. 특히, 트랜스포머와 램프는 가능한 짧게 연결하도록 한정하고 있다<sup>[3]</sup>.

국제아마추어무선연맹은 2012년 CISPR 방콕총회에서 간섭을 일으킨 ELV LED 조명 램프를 상기 제안된 시험방법에 따라 시험한 결과, CISPR 15의 제한 값을 만족함으로써 제안된 시험방법이 실제 환경을 묘사하기에 부적절하다는 의견을 제시하였고, 이에 대한 대안으로 램프의 저전압 전원 단자에서의 기준을 정할 것을 요구하였다<sup>[4]</sup>.

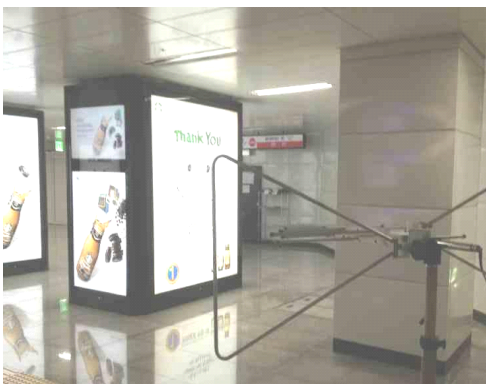
### III. 복사성 방출(RE) 측정 방법 연구

앞의 현황에서와 같이 현재 CISPR에서 제안된 ELV LED 램프 시험방법은 실제 생활환경에서 발생하는 전자파 방출 문제를 예방하기 위한 적절한 평가방법을 제시하지 못하였다. 이는 ELV LED 램프가 사용되는 실 환경을 적절히 고려하지 않았기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 부하선 조건에 대한 규격을 살펴보고, 이를 감안한 측정 방법을 제시하고자 노력하였다.

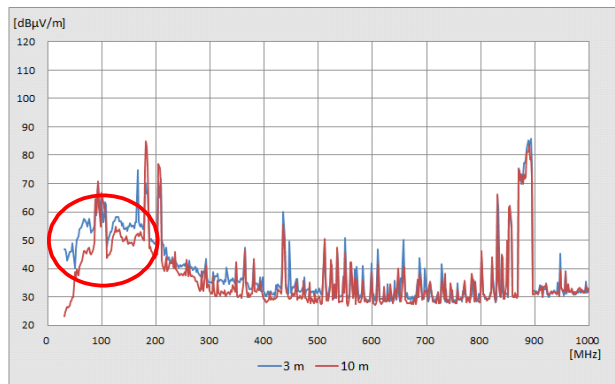
#### 3-1 부하선로의 길이와 관련 국제표준 분석

##### 3-1-1 CISPR 15

LED 조명기기에 대한 전자파 적합성 요구조건은 CISPR 15 개정 작업에서 규정되어지고 있다. 측정대상은 LED 램프, LED 조명기구, LED용 컨버터로 구분하고 있으며, LED 램프와 LED 조명기구에 대해서는 9 kHz에서 30 MHz 주파수 범위의 주전원 단자에서의 방해전압, 9 kHz에서 30 MHz 주파수 범위의 복사성 방해, 30 MHz에서 300 MHz 주파수 범위의 복사성 방해 허용 기준 및 측정 방법을 규정하고 있고, LED용 컨버터에 대해서는 제어단자 및 부하단자에서의 방해전압 허용 기준을 추가로 규정하고 있다<sup>[5]</sup>.



(a) 대형 광고판 전자파 측정



(b) LED 조명에 의한 전자파 방출 측정 결과

[그림 2] 다중 ELV LED 백라이트에 의한 전자파 방출 측정 결과

전자파 방출의 주요 경로로 고려되고 있는 부하선로에 대한 조건은 규격의 8.4.2에서 규정하고 있으며, 그 주요 내용은 <표 1>과 같다. 여기서, 실제 설치환경을 고려한 특별한 조건(선 종류, 최대길이)이 제시된 경우, 측정은 이러한 조건에서 실시하여야 한다는 조건도 있으나 거의 고려되지 않고 있다.

또한, 조명기기의 복사성 방출을 측정하기 위한 측정 방법에서의 부하선로의 길이에 대한 고려 여부를 살펴보았다. 규격의 9.4절 30 MHz 이하 복사성 전자파 방해 측정 방법에서는 이 부하선로의 길이에 대한 조건을 적용하고 있다. 그러나 규격의 9.2절 30 MHz에서 300 MHz 범위의 복사성 전자파 방해 측정에서는 피시험기를 시험 테이블 위에 올려놓는 기본적인 측정 구성만을 고려하고 있고, 부하선로의 처리 방법 및 측정 구성에 대한 규정이 명확하지 않다.

국제아마추어연맹의 요구에 대응하여 새로 마련된 ELV LED 램프에 대한 측정 방법 설명서에서 부하선로 길이의 고려 여부를 살펴보았다. 즉, F/583/ISH에서 ELV LED 램프에 대한 30 MHz 이하의 전도성 및 복사성 방해 측정 시 사용할 트랜스포머 지정, 조명기기의 측정 구성 등에 대한 구체적인 시험구성이 제시되었다. 그러나 30 MHz 이상에 대한 시험방법은 위와 마찬가지로 명확한 측정 구성에 대한 규정이 없다.<sup>[3]</sup>

<표 1> CISPR 15에서 독립 컨버터의 부하선로의 길이에 대한 조건

구분	부하선 길이	측정조건
a	2 m 이하	- 0.8 m 또는 그 이하의 선 사용 - 직선형으로 배열
b	2 m 초과	- 0.8 m 및 최대 길이 선 사용
c	설치규정	- 설치 매뉴얼 상의 부하선의 종류, 길이 사용

### 3-1-2 CISPR 14-1

전자파 방출의 주요 경로로 고려되고 있는 부하선로에 대한 고려 여부를 살펴보기 위하여 유사한 경우가 존재하는 가전기기 및 전동기구의 규격을 검토해 보았다.

전기기기 및 전동기구류에 대한 전자파 방출 규격은 CISPR 14-1이며, 이 규격의 5.2.4 반도체 소자 내장형 제어조절장치의 5.2.4.5에서 제어용 선로의 길이에 대한 조건이 규정되어 있으며, 그 주요 내용은 <표 2>와 같다<sup>[6]</sup>. 여기서도, 실제 설치환경에 대한 조건은 거의 고려되지 않고 있다.

### 3-1-3 ITU-R SM.1879-1

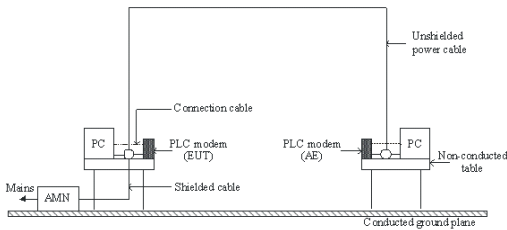
실제 생활환경에서 사용되고 있는 선로의 구조를 측정 구성에서 활용하고 있는 규격을 살펴보았다.

ITU-R SM.1879-1은 고속 전력선 통신 모뎀(PLT)의 간섭으로부터 30 MHz 이하 및 80 MHz에서 470 MHz 주파수 범위의 무선 통신 시스템을 보호하기 위한 기준과 측정 방법에 대한 가이드를 규정하고 있다<sup>[7]</sup>. 이 규격의 부속서 2의 부록 5의 그림 2, 3에 전력선 통신 모뎀에 대한 복사성 전자파 방출 측정을 위한 측정 구성이 제시되어 있다. [그림 3]에서 보듯이 이 구성은 9 m의 전력선을 공중에 ‘ㄷ’자 모양으로 구성하여 실제 환경에서의 배선모형을 모사하고 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 현재 CISPR 규격에서는 측정의 용이성과 재현성 측면에서 실제 환경을 고려

<표 2> CISPR 14-1에서 제어선로의 길이에 대한 조건

구분	제어선 길이	측정조건
a	1 m 이하	- 0.5 m에서 1미터의 선 사용
b	1 m 초과	- 0.8 m를 초과하는 선을 0.3~0.4 m 길이로 접어서 수평 다발을 만들어 사용



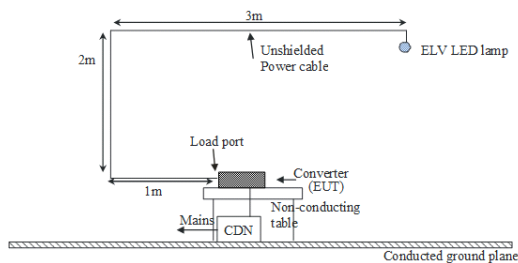
[그림 3] ITU-R SM.1879-1의 고속 전력선 통신 모델 전자파 방출 측정 구성

한 구성보다는 간략화된 측정 구성을 규정하고 있다. 이는 보편적 기준을 다루는 표준측면에서는 타당한 면이 있지만 ELV LED 조명 간섭 사례에서와 같이 부정확한 측면도 있으므로 이 간극을 좁히기 위한 고려가 필요하다.

### 3-2 측정 방법 비교 분석

#### 3-2-1 부하선 길이를 고려한 측정 구성

가정환경에서의 조명기기 이용 상황을 모사하기 위하여 부하선로가 긴 ELV LED 램프와 컨버터용 복사성 전자파 방출 측정 구성 1을 [그림 4]와 같이 구성하였다. 이 구성은 한국 표준주택에서 조명 배선구조와 스위치에서 천정등까지의 선로 길이를 고려하고, 위 [그림 3]의 전력선 통신 모델 측정 구성을



[그림 4] 부하선로가 긴 독립 컨버터에 대한 복사성 전자파 방출 측정 구성 1

참조하였다.

또한, CISPR 14-1의 제어선로 처리 조건을 참조하여, 6 m 길이의 부하선로를 0.4 m 길이로 접어서 수평다발을 만들고 이를 포함한 전체 길이가 1 m 이내가 되도록 구성하여 테이블 위에 배치하는 측정 구성 2를 [그림 7] (a)와 같이 구성하였다.

그리고 이 측정 구성들을 CISPR 15 부록 C의 기본구성과 비교 측정하였다.

#### 3-2-2 측정 결과 분석

측정대상으로는 7 W ELV LED 램프와 100 W 독립형 컨버터를 사용하였고, 복사성 전자파 방출 측정은 3 m 반무반사실에서 LPD 안테나를 이용하여 침투값 검파기 모드로 측정하였다.

기본 측정 구성을 이용한 복사성 방출 측정 결과는 [그림 5]와 같다.

측정 결과는 [그림 5] (b)에서와 같이 수평과 수직 편파에 대한 측정 결과 2가지이며, 피시험기기에 의한 전자파가 30 MHz에서 400 MHz 주파수 범위에서 방출되고 있음을 알 수 있고, 55 MHz와 200 MHz 부근에서 최대값이 측정되었다.

측정 구성 1을 이용한 복사성 방출 측정 결과는 [그림 6]과 같다.

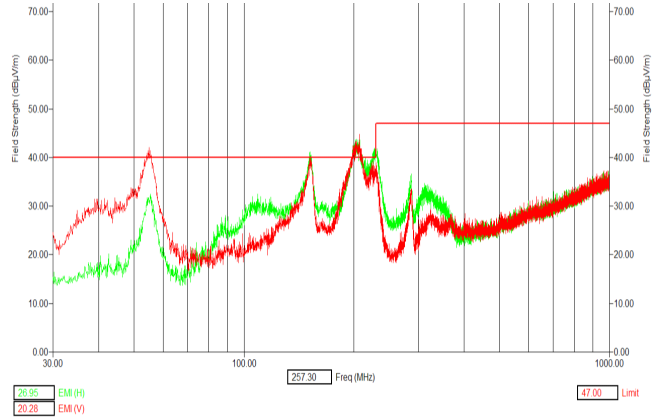
[그림 5]의 기본 측정 구성의 측정 결과와 마찬가지로 30 MHz에서 400 MHz 주파수 범위에서 전자파가 방출되고 있음을 알 수 있으나, 부하선로의 길이와 구성이 바뀌면서 전자파 방출대역이 80 MHz에서 250 MHz의 전 범위로 확대되었고, 방출세기도 증가하였음을 확인할 수 있다.

측정 구성 2를 이용한 복사성 방출 측정 결과는 [그림 7]과 같다.

[그림 5]와 [그림 6]의 측정 결과처럼 전자파가 방출되는 주파수 범위는 유사함을 확인할 수 있으나, 부하선로를 0.4 m로 접어 구성이 바뀌면서 전자파 방출 양상이 확연히 변화됨을 확인할 수 있다. 특히

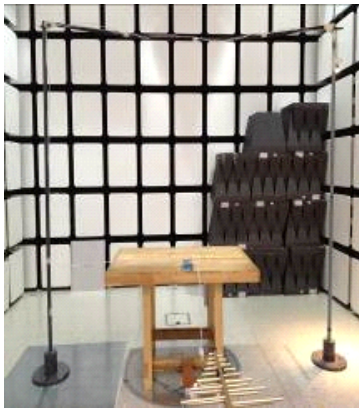


(a) 기본 측정 구성

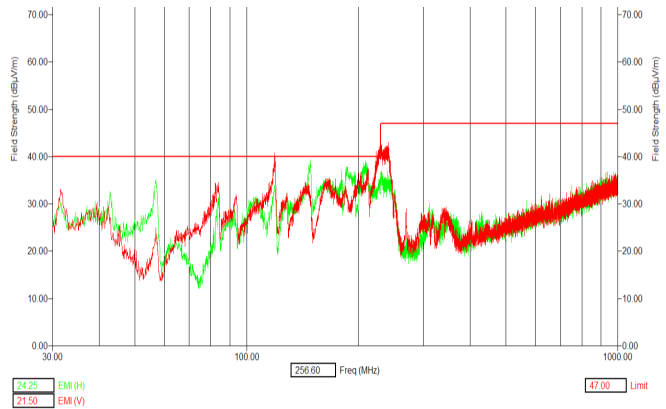


(b) 복사성 전자파 방출 측정 결과

[그림 5] 기본 측정 구성을 이용한 ELV LED 조명기기의 복사성 전자파 방출 측정 결과



(a) 복사성 방출 측정 구성 1



(b) 복사성 전자파 방출 측정 결과

[그림 6] 측정 구성 1을 이용한 ELV LED 조명기기의 복사성 전자파 방출 측정 결과

100 MHz에서 300 MHz 범위의 전자파 방출이 증가되었고, 200 MHz 부근의 최대 전자파 방출 세기도 10 dB 이상 크게 증가하였음을 확인할 수 있다.

#### IV. 국제 표준화 대응

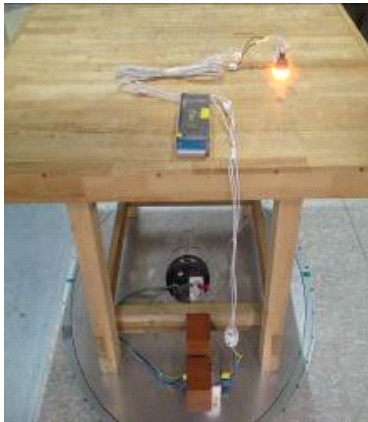
이상의 연구 결과를 바탕으로 CISPR 15 조명기기에 대한 규격의 개정 의견을 제출하고 2012년도 CISPR 방콕 국제회의에서 개정 의견에 대한 논의를 진행하였다.

제출된 기고서 주요 내용은 다음과 같다.

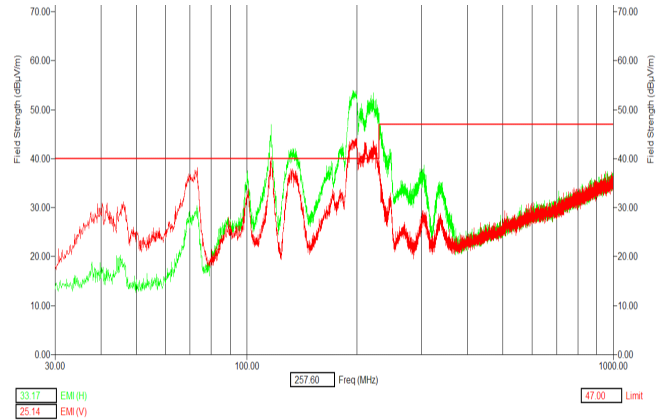
현 CISPR 15의 30 MHz 이상에 대한 방사 측정 방법은 기본적인 시험구성만을 고려하고 있기 때문에, 이를 보완하기 위한 구체적인 복사성 방출 측정 방법을 제안하고자 한다.

우리는 긴 부하선을 사용하는 ELV LED 램프와 독립 컨버터에 대한 복사성 전자파 방출 측정 구성에 대하여 비교 검토하였다. 그 결과, 부하선로가 긴 경우, 0.4 m 수평반들 형태로 처리한 측정 구성 2가 최악의 조건임을 확인하였다.





(a) 복사성 방출 측정 구성 2



(b) 복사성 전자파 방출 측정 결과

[그림 7] 측정 구성 2를 이용한 ELV LED 조명기기의 복사성 전자파 방출 측정 결과

현재 CISPR 15 규격에서 미비한 30 MHz 이상의 측정 구성을 명확히 하기 위하여 다음과 같이 제안한다.

긴 선에 대한 처리를 명확히 하기 위하여, 8.4.2에 다음 사항을 추가할 것을 제안한다.

“If a special lead is provided, the length of this lead in excess of 2 m shall be folded back and forth parallel to the lead so as to form a horizontal bundle with a length between 0.3 m and 0.4 m.”

그리고 ELV LED 컨버터에 대한 시험방법의 이해를 돕기 위하여, 표 D.3의 30 MHz 이상의 복사성 방출 측정 방법에 부하선로의 길이 조건을 규정한 9.4 절을 추가할 것을 제안한다.

## V. 결 론

LED 조명기기의 보급과 응용분야가 확대됨에 따라 조명기기의 전자파로 인한 전자파 장애 및 방송통신 서비스로의 간섭에 대한 우려도 증가하고 있다.

생활환경에서 볼 수 있는 장식 조명이나 대형 광고판의 ELV LED 조명 응용 사례에서 발생하는 전자파 방출 예를 살펴봄에 적절한 전자파 관리의 필요성을 확인하였고, 국제 표준화 회의에서 제기된 전자파 간섭에 관한 내용을 살펴봄에 현행 조명기기 규격의 복사성 방출 측정 방법에 대한 보완 필요성을 확인하였다.

이에 조명기기에 대한 국제표준 CISPR 15에서 다

<표 3> CISPR 15 개정규격<sup>[5]</sup>의 표 D.3 중 독립 컨버터에 대한 제한값 및 시험방법 적용

D.3 Independent converters for incandescent lamps or LED light sources	Electronic control gear	No			Table 2a	8.1.1, 8.4.2			Table 2b	8.1.2 (note2)	Table 3a (note2)	9.1, 9.4	Table 3b	9.2 <u>9.4</u>
		Yes-Interface controlled			Table 2a	8.1.1, 8.1.4, 8.4.2	Table 2c	8.1.3, 8.1.4	Table 2b	8.1.2, 8.1.4 (note2)	Table 3a (note2)	9.1, 9.1.4, 9.4	Table 3b	9.2 <u>9.4</u>

Note 2: Radiated electromagnetic disturbance measurement may be performed as an alternative to the disturbance measurement at the load terminals-see clause 8.4.2.

루고 있는 전자파 방출 측정 방법을 검토하여 부하 선로가 긴 LED 램프와 독립 컨버터에 대한 복사성 방출 측정 방법의 보완이 필요함을 발견하였다. 이를 보완하기 위하여 가전기기 규격과 전력선 모델 기준을 분석하고 긴 부하선로를 갖는 조명기기에 대한 측정 구성 방법 두 종류를 제안하였다. 제안된 2가지 구성과 조명기기 규격의 기본구성을 이용한 ELV LED 조명의 복사성 방출 측정 결과를 살펴보고, 부하선로가 긴 경우 0.4 m 길이로 말아 수평 번들 형태로 만든 측정 구성이 가장 열악한 측정 구성임을 확인하였다.

이 결과를 바탕으로 긴 부하선에 대한 처리조건 및 복사성 방출 측정 시 부하선 조건의 고려에 대한 CISPR 15 개정의견을 제출하였고 2012년도 CISPR 방콕 국제회의에서 개정의견에 대한 논의를 진행하였다.

향후 실환경의 전자파 간섭문제를 적절히 관리할 수 있도록 전자파 방사 측정 구성에 관한 추가 연구가 필요하며, 본 연구 결과는 조명기기 국제규격에 반영되어 LED 조명기기에서 발생하는 전자파로부터 방송통신 서비스를 보호하고, 안전한 전자파 환경을 구현하기 위한 방안으로 활용될 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국전자과학회, 전자파 적합성(EMC) 국제표준화 대응연구, 전파연구소 RRA2010-1-2-01, 2010년.
- [2] CISPR F response to CISPR/F/565/INF on IARU Interference Problem with Some LED Lighting Devices, CISPR/F/568/INF, 2012.
- [3] Interpretation Sheet 1 to CISPR 15: Interpretation Sheet on the Assessment of Retrofit Extra Low Voltage LED Lamps, CISPR/F/583/ISH, 2012.
- [4] Shortcomings in Measurement of Extra Low Voltage LED Lamps in CISPR 15, CISPR/F/590/ INF, 2012.
- [5] CISPR 15 Amd.3 Ed. 7.0, CISPR/F/533/CDV, 2010.
- [6] 가정용 전기기기 및 전동기기류 장애방지 시험 방법, KN 14-1, 2011년.
- [7] The Impact of Power Line High Data Rate Telecommunication Systems on Radiocommunication Systems below 30 MHz and between 80 and 470 MHz, ITU-R SM.1879-1, 2011.



≡ 필자소개 ≡

금 홍 식



1994년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2009년 3월~현재: 한국전파진흥협회 전자파기술원  
 [주 관심분야] 디지털 통신 시스템, EMC 기술기준 및 표준화

최 상 호



2002년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2001년 12월~2006년 9월: 한국정보통신기술협회 책임연구원  
 2006년 9월~2008년 9월: 한국전파진흥원 전파방송정책연구실장  
 2009년 3월~현재: 한국전파진흥협회 전자파기술원장

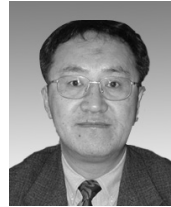
[주 관심분야] 방송통신, 전자파 정책

양 준 규



2008년 8월: 군산대학교 정보통신공학과 (공학박사)  
 1997년 12월~현재: 방송통신위원회 국립전파연구원 연구사  
 [주 관심분야] EMC 기술기준 및 정책

김 인 석



1974년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)  
 1984년 2월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학석사)  
 1990년 10월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학박사)  
 1973년 10월~1980년 8월: 한국방송공사(KBS) 기술사원

1983년 2월~1983년 12월: 캐나다 Com. Dev. Ltd, Div. of Satellite System, Technical Staff

1984년 1월~1985년 8월: 캐나다 General Instrument, Div. Satellite System, Senior Engineer

1990년 10월~1991년 2월: Canadian Space Agency, David Florida Lab., Research Scientist

1997년 1월~2001년 12월: 정보통신부 국가주파수 심의위원

1999년 3월~2000년 2월: ETRI(초빙연구원), 스위스 연방공과대학(방문교수), 모토로라 전자파연구소(Ft. Lauderdale, US) 초빙연구원

2003년 1월~2004년 12월: (사)한국항행학회 회장

2004년 7월~2007년 2월: 한국전파교육대학협의회 회장

2006년 11월~2012년 8월: 한국전자파학회 전자파교육연구회 위원장

1992년 3월~현재: 경희대학교 전자정보대학 전자·전파공학 교수

2000년 1월~현재: 미국 전기전자공학회(IEEE Microwave Theory & Techniques) 논문심사위원

2002년 1월~현재: 미국 전기전자공학회(IEEE Microwave & Wireless Components Letters) 논문심사위원

2007년 1월~2011년 12월: 방송통신위원회 국립전파연구원 EMC기준전문위원회 BF소위원회 위원장

2012년 1월~현재: 방송통신위원회 국립전파연구원 EMC기준전문위원회 B 소위원회 위원장

[주 관심분야] 전파교육, 마이크로웨이브 공진기연구, 공진기의 발진기와 필터 쪽의 응용 연구, 마이크로웨이브 전력분배기, 방향성 결합기 수동소자 개발, EMI/C 대책기술, EMP 방호기술, 전자파 신호 검사기술 등