

전원회로(무전극 형광등용 안정기)의 전자파장해 특성연구

이세현\*, 김현숙, 신상욱, 황명근  
한국조명기술연구소

The EMI characteristics research of electrodeless fluorescent lamp ballast

Se-Hyun Lee\*, Hyun-Sook Kim, Sang-Wuk Shin, Myung-Keun Hwang  
Korea Institute of Lighting Technology

**Abstract** - In this paper, We have investigated the EMI(electro magnetic interference) characteristics of electrodeless fluorescent lamp ballast as a ground connection and have measured various waveforms, which can be expressed the disturbance voltages and radiated electro-magnetic disturbances, induced the measuring instrument and found that effect of ground connection is the one of the important elements on EMI reduction.

이론적으로 차동모드에서는 접지(Ground)에 대한 전압  $V_1, V_2$ 가 거의 대칭이므로 접지쪽으로 흐르는 전류는 없으며, 모든 차동모드 전류( $I_D$ )는 부하를 통하여 흐른다. 따라서 임의의 한 순간에 두 전압의 합( $V_1+V_2$ )은 항상 '0'이다.

$$V_1 = -V_2 \quad (\text{식1})$$

$$V_{DIFF} = V_1 - V_2 \quad (\text{식2})$$

1. 서론

최근 반도체 기술의 발달로 인한 전기·전자 부품들이 점점 소형화되면서 상대적으로 내전압들은 약해지고 있으며, 주위환경의 영향에 따르는 잡음발생 및 오동작 등의 문제점을 나타내고 있다.<sup>(1)(2)(3)(4)</sup> 특히, 자연현상 또는 인위적인 환경에 따른 접지전위의 상승은 전기전자기에 치명적인 손상을 입힐 수 있으며, 심한 경우 인체의 감전사고 등의 중대한 사고로 이어질 수 있다.<sup>(5)</sup>

또한 전자파에 대한 여러가지 장애들이 연구되기 시작하면서 전자파 장애에 대한 규제는 국제적인 차원에서 강화되고 있으며, 규제 차원을 넘어 제품의 질적 차원으로까지 인식되고 있는 실정이다.<sup>(6)(7)</sup>

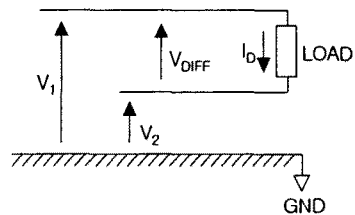
특히, 조명분야에 있어서의 최근 동향은 장수명, 고효율, 고연색성 등의 특징을 갖는 여러 가지 램프 및 시스템들이 연구되고 있으며, 플라즈마 방전을 위한 운용 주파수 대역들도 점차 고주파대역으로 이동하고 있는 추세이다.<sup>(8)</sup> 이러한 시스템 중 초고주파를 이용한 무전극 방식의 새로운 방전 광원시스템들은 일부 기업들에 의해 상용화 초기에 있으며, 국제 규격에 따른 전자파 장애 감소를 위해 노력하고 있는 실정이다.<sup>(9)</sup> 또한 이러한 무전극 시스템 자체에 기본이 되는 접지기술은 그 중요성이 충분히 인식되고 있다고 생각되지만, 독립 접지 및 공용 접지에 따르는 여러 가지 문제점들을 충분히 인식하지 못해서 사고내지는 장애를 경험하고서야 그 중요성을 인식하는 경우가 다반사이다.<sup>(10)(11)</sup> 따라서 본 논문에서는 무전극 형광등의 안정기를 대상으로 전자파 장애에 대해 접지가 얼마만한 영향을 줄 수 있는 가에 대한 연구를 하였으며, 차후 고주파 안정기 및 접지 설계에 있어서 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 본론

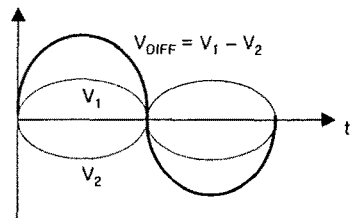
2.1 관련 이론

2.1.1 차동모드(differential-mode)<sup>(12)</sup>

차동모드를 이해하기 위해 그림 1과 같이 부하가 연결된 2선의 케이블을 고려하여, 접지와 각 선간의 전압을  $V_1, V_2$  라고 하면, 다음 식 1이 성립한다. 또한 전압  $V_1$ 과  $V_2$ 는 크기가 같고 위상이 동상이므로 식 2가 성립한다.

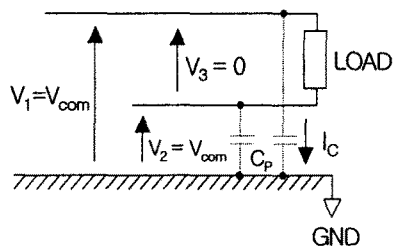


(a) 차동모드 전압

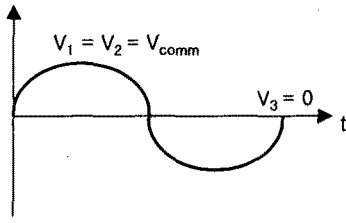


(b) 차동모드 전압파형

(그림 1) 차동모드(Differential-mode)전압과 파형



(a) 공통모드 전압



(b) 공통모드 전압파형

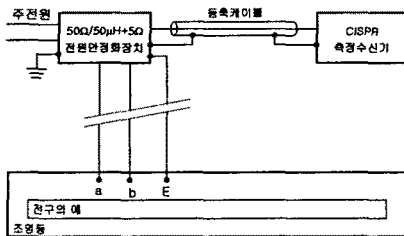
[그림 2] 공통모드(Common-mode)전압과 파형

[표 1] 잡음전도전압의 한계값

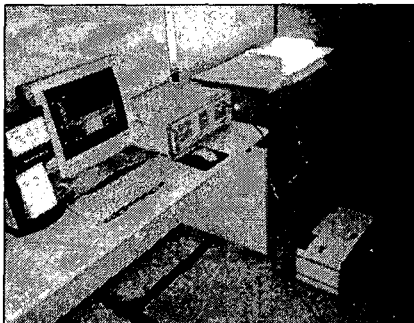
주파수 범위	허용 기준 dB(μV)	
	준 침투치	평균치
9 kHz ~ 50 kHz	110	-
50 kHz ~ 150 kHz	90~80	-
150 kHz ~ 0.5 MHz	66~56	56~46
0.5 MHz ~ 2.51 MHz	56	46
2.51 MHz ~ 3.0 MHz	73	63
3.0 MHz ~ 5.0 MHz	56	46
5 MHz ~ 30 MHz	60	50

[표 2] 잡음자계강도의 한계값

주파수 대역	루프 직경에 대한 허용 기준치 dB(μA)		
	2m	3m	4m
9 kHz ~ 70 kHz	88	81	75
70 kHz ~ 150 kHz	88~58	81~51	75~45
150 kHz ~ 2.2 MHz	58~26	51~22	45~16
2.2 MHz ~ 3.0 MHz	58	51	45
3.0 MHz ~ 30 MHz	22	15~16	9~12



[그림 3] 잡음전도전압 측정배치도



[그림 4] 잡음전도전압 장치구성

### 2.1.2 공통모드(common-mode)<sup>(12)</sup>

공통모드는 접지(Ground)와 각 선간에 존재하는 기생 캐패시턴스(Parasitic Capacitance)에 기인한 공통모드전류(common-mode current)가 접지로 흐르면서 발생하는 전압으로, 이러한 공통모드 개념을 그림 2에 나타내었으며 관계된 수식을 식3, 4와 같이 나타내었다.

$$V_1 = V_2 = V_{com} \quad (\text{식3})$$

$$V_3 = 0 \quad (\text{식4})$$

또한, 부하를 가로지르는 전류가 없기 때문에 선간전압은 '0'이며, 모든 공통모드전류(I<sub>c</sub>)는 각 선과 접지사이의 기생 캐패시턴스를 경유하여 접지단자로 흐른다. 따라서 임의의 한 순간에 두 전압의 합(V<sub>1</sub>+V<sub>2</sub>)은 '0'이 아니며, 각 선의 전위는 접지에 따라 변화한다. 이 변화하는 전위는 각 선으로부터 방사되는 전자파를 상승시킬 수 있다.

### 2.2 전자파장애 규제 및 규격<sup>(13)</sup>

무전극 램프를 점등시키기 위한 전원회로(안정기)에는 위상제어회로가 이용되고 있으며, 이러한 기기의 입력전류파형은 정현파와는 다른 왜형파를 가지게 되는 데 이러한 왜형파에 의해서 고주파 전류가 발생된다. 이 고주파 전류는 전력설비의 장애 및 주변기기의 오동작 등의 문제를 발생시킬 수 있으므로 규제되어야 한다.

이러한 전자파 장애에 대한 대표적인 규격으로 CISPR(International Special Committee on Radio Interference)가 있으며, 유럽에서는 EN(European Norms), 일본에서는 VCCI(Voluntary Control Council for Interference) 규격이 CISPR를 기본규격으로 채택하여 적용하고 있다.

이 CISPR 규격의 주요 Publishing은 다음과 같다.

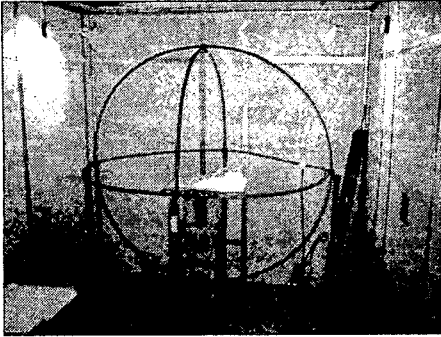
- Pub.11 : 산업, 과학 및 의료(ISM)용 기기에 관한 전자파방해특성의 한도치 및 측정방법
- Pub.13 : Audio 및 TV 방송수신기 및 관련기기의 무선방해특성의 한도치 및 측정방법
- Pub.15 : 전기조명 및 유사기기의 무선방해특성의 한도치 및 측정방법
- Pub.22 : 정보기술기기 및 무선방해특성의 한도치 및 측정방법

특히, Pub.15 규격에는 AC 라인으로 유기되는 노이즈를 규제하는 잡음전도전압과 자유공간으로 방사되는 노이즈를 규제하는 잡음자계강도가 있으며, 잡음전도전압의 한계값을 표 1에, 잡음자계강도의 한계값을 표 2에 각각 나타내었다.

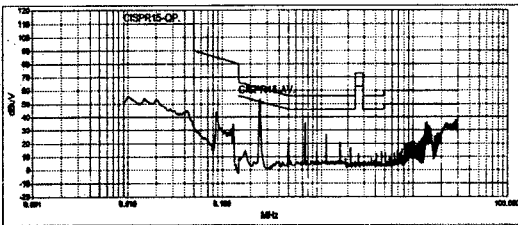
### 2.3 실험방법 및 장치구성

#### 2.3.1 잡음전도전압

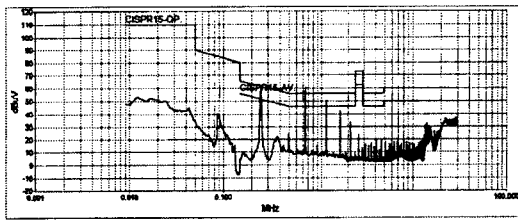
잡음전도전압은 그림 3과 같이 전원안정화장치의 출력단자를 단자 a-b와 0.8m±20% 떨어진 지점에 위치시킨 후에 접속하여, 정격전압을 인가하고 램프가 안정화될 때까지 에이징시킨 후, 조명장치의 주전원 단자에서 측정하였으며, 측정수신기는 전원 안정화장치와 동축케이블로 연결하고 접지선은 접지하였다. 또한 잡음전도전압이 접지연결에 따라 얼마만한 영향이 발생하는지를 측정하기 위해 무전극 형광등용 안정기의 전압입력단자 쪽의 접지선을 연결과 분리로 구분하여 측정하였다. 이러한 측정배치도를 그림 3에 나타내었으며, 장치구성을 그림 4에 나타내었다.



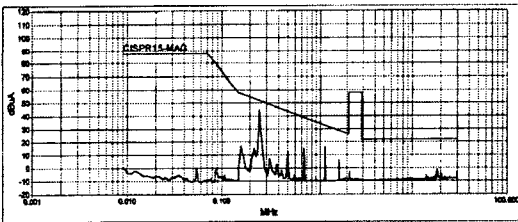
[그림 5] 자기장 루프안테나를 이용한 측정모습



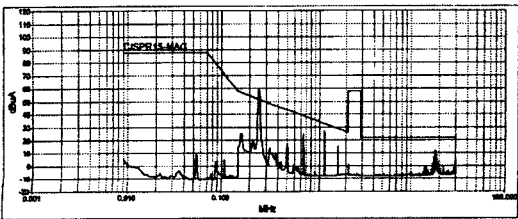
[그림 6] 잡음전도전압의 측정값(접지선연결)



[그림 7] 잡음전도전압의 측정값(접지선분리)



[그림 8] 잡음자계강도의 측정값(접지선연결)



[그림 9] 잡음자계강도의 측정값(접지선분리)

### 2.3.2 잡음자계강도

잡음자계강도의 측정은 자기장 루프 안테나를 이용하여 안테나 중앙에 무전극 형광등용 안정기를 배치시킨 후, 정격전압을 인가하여 점등시키고 램프가 안정화된 후, 자기장 루프 안테나에 나타나는 유도전류를 측정하였다. 루프 안테나에 나타나는 유도 전류는 전류 프로브와 CISPR 측정 수신기에 의해서 측정되는 데, 동축 전환 스위치에 의해서 세 개의 횡방향(X, Y, Z축)을 연속적으로 측정하였다. 또한 잡음자계강도가 접지연결에 따라 얼마만한 영향이 발생하는 지를 측정하기 위해 무전극 형광등용 안정기의 전압입력단자쪽의 접지선을 분리전과 분리후로 구분하여 측정하였으며, 이러한 측정모습을 그림 5에 나타내었다.

### 2.4 실험결과 및 고찰

#### 2.4.1 접지선에 따른 잡음전도전압

무전극 형광등용 안정기의 전원접지를 연결하여 정격전압을 인가하고 램프가 안정화된 이후, 조명장치의 주전원단자에서 잡음전도전압을 측정하였으며, 측정값을 그림 6에 나타내었다. 또한 전원접지를 분리하여 정격전압을 인가하고 램프가 안정화된 이후, 조명장치의 주전원단자에서 잡음전도전압을 측정하여 접지선의 분리전, 후의 값을 비교하였으며, 접지선 분리후 측정값을 그림 7에 나타내었다.

잡음전도전압의 피크값은 250kHz와 745kHz에서 각각 최대값을 보였으며, 안정기 운용주파수인 250kHz에서 각각의 측정값을 비교하면 접지전에는 59(dBμV), 접지후에는 53.57(dBμV)으로 측정되어 대략 5(dBμV)의 차이가 나타남을 볼 수 있었다. 또한 접지선을 분리한 후의 측정값 중 주파수 745kHz와 1.24MHz에서 CISPR 15 규격의 잡음전도전압 한계치를 넘는 60.96(dBμV)와 50.86(dBμV)로 측정되었다. 이것은 접지선의 연결유무에 따른 차이로서 무전극 형광등용 안정기의 잡음전도전압을 줄이기 위해서는 접지가 필수요소임을 알 수 있다. 이러한 측정값들을 표 3에 나타내었다.

#### 2.4.2 접지선에 따른 잡음자계강도

접지선의 연결유무에 따른 잡음자계강도의 측정은 자기장 루프 안테나를 이용하여 한번은 안정기의 전원접지를 연결하여 측정하고, 다른 한번은 안정기의 전원접지를 분리하여 측정함으로써 접지전후의 영향을 비교하였으며, 자기장 루프 안테나의 특성상 X, Y, Z축 방향으로 각각 측정하여 접지 전·후 측정값의 차이가 가장 큰 Z축 방향의 측정값을 그림 8, 9에 각각 나타내었다.

잡음자계강도 측정에 의한 유도전류의 피크값은 안정기 운용주파수인 250kHz에서 각각 최대값을 나타내었으며, 접지전 59.95(dBμV)와 접지후 44.76(dBμV)로 측정되어 대략 15(dBμV)의 차이가 나타남을 볼 수 있었다. 이것은 안정기에서 발생하는 자계강도 역시 접지에 의해 영향을 받고 있음을 나타내어주는 측정값으로서 안정기의 자계강도를 줄이기 위해서 접지를 하여야 함을 알 수 있었다. 이러한 측정값들을 표 3에 나타내었다.

[표 3] 접지전후의 잡음전도전압과 잡음자계강도

분류	주파수(kHz)	측정값(dBμV)	비고	
잡음전도전압	접지전	250	59.00	
		745	60.96	peak
	접지후	250	53.57	peak
		745	35.74	
잡음자계강도	접지전	250	59.95	
		250	44.76	
	131	34.96		

### 3. 결 론

본 논문에서는 무전극 형광등용 안정기를 대상으로 전자파 장애에 대해 접지가 얼마만큼의 영향을 줄 수 있는가에 대해 연구를 하였으며, 전자파 장애를 잡음전도전압과 잡음자계강도로 나누어 접지전후의 측정값을 각각 비교·분석하였다.

잡음전도전압에 있어서의 측정값은 250kHz와 745kHz에서 53.57(dB $\mu$ V)와 60.96(dB $\mu$ V)로 각각 최대값을 나타내었으며, 안정기의 운용주파수인 250kHz에서의 값을 비교하면 접지전 59(dB $\mu$ V)와 접지후 53.57(dB $\mu$ V)로 대략 5(dB $\mu$ V)의 차이가 남을 볼 수 있었다.

잡음자계강도에 있어서의 측정값은 안정기의 운용주파수인 250kHz에서 59.95(dB $\mu$ V)와 44.76(dB $\mu$ V)로 최대값을 각각 나타내었으며, 접지전과 후값이 대략 15(dB $\mu$ V)의 차이가 남을 볼 수 있었다. 이것은 안정기에서 발생하는 잡음전도전압과 잡음자계강도가 접지의 연결유무에 따라 영향을 받고 있음을 나타내주는 값으로서 무전극 형광등용 안정기의 전자파장애를 줄이기 위해서는 접지가 필수요소 중에 하나임을 알 수 있다.

앞으로 공통접지와 독립접지 시스템을 구분하여 접지에 따른 전자파 장애의 영향이 연구되고 이에따른 전자파 장애 감소 대책방안이 강구된다면 차후 고주파 안정기 및 접지 설계에 있어서 많은 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Ronald B.Standler, "Protection of Electronic Circuits from Overvoltages", John wiley & Sons Inc, pp. 3-54, 1989.
- [2] Ferreira, J.A; Willcock, P.R; Holm, S.R, "Sources, paths and traps of conducted EMI in switch mode circuits", Industry Applications Conference 1997, Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS'97, Conference Record of the 1997 IEEE, Volume: 2, p.1584-1591, 1997.
- [3] Qing Chen, "Electromagnetic interference design considerations for a high power AC/DC converter", Power Electronics Specialists Conference 1998, PESC 98 Record, 29th Annual IEEE Volume: 2, p.1159-1164, 1998.
- [4] Pong, B.M.H; Lee, A.C.M, "A method to measure EMI due to electric field coupling on PCB", Power Conversion Conference-Nagaoka 1997, Proceedings of the Volume: 2, p.1007-1012, 1997.
- [5] Denny, Hugh W, "Grounding for the control of EMI", Don White Consultants, pp.1-169, 1983.
- [6] Jokela, K; Puranen, L; Gandhi, O. P, "Radio frequency currents induced in the human body for medium-frequency/ high-frequency broadcast antennas", Health Phys, pp.237-244, 1994.
- [7] Jeffrey P.Mill, "Electro-magnetic Interference Reduction in Electronic Systems", PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1993.
- [8] M. Moisan and Z. Zakrzewski, "Plasmas sustained by surface waves at microwave and RF frequencies : Experimental investigation and applications", Department de Physique, Universite de Montreal, pp.381-429
- [9] Harish Chandra, "Mitigation of Electromagnetic Interference in Low Power Compact Electrodeless Lamps", GE Lighting, Noble Rd, Nela Park Cleveland, 1975.
- [10] Sen, P.K.; Malmadal, K.; Nelson, J.P, "Steel grounding design guide and application notes", Proceedings of the 2002 Rural Electric Power

Conference, 2002.

- [11] Dongbing Zhang; Dan Chen; Sable, D. Nonintrinsic differential mode noise caused by ground current in an off-line power supply", Power Electronics Specialists Conference 1998, PESC 98 Record 29th Annual IEEE Volume: 2, pp.1131-1133, 1998.
- [12] Ronald B.Standler, "Protection of Electronic Circuits from Overvoltages", John wiley & Sons Inc, pp.55-108, 1989.
- [13] International Electrotechnical Commission, "Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment", CISPR 15, 1999.