

HID램프와 안정기 사이의 전선 길이에 따른 이그니션 전압 전달특성 분석

방선배, 김중민, 김효진*, 김대식*, 한상옥**
 전기안전연구원, 한국전기공사협회*, 충남대학교**

Characteristics of the Ignition Voltage through the Conductor according to its length from the ballast to the lamp

Sun-Bae Bang, Hyo-Jin Kim*, Dae-Sik Kim*, Sang-Ok Han**
 Electrical Safety Research Institute, KECA*, Chungnam National Univ.**

Abstract - 본 논문은 HID 램프 관등회로의 전선 길이에 따른 이그니션 전압·전류 특성 분석에 관한 것이다. 현장실태조사를 통하여 HID 램프 관등회로 전선 굵기 선정의 문제점을 제시하고 HID 램프의 이그니션 전압·전류 특성을 분석하였으며, 이론적 고찰과 시뮬레이션, 실험을 통하여 전선의 길이, 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압 감쇄 그래프를 제시하였다.

1. 서 론

최근 국내 조명시설은 야간활동 및 체육활동 인구증가에 따라 HID 램프의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 대형공장, 조명타워와 같이 고위도에 램프가 설치되는 경향이 있다. 그러나 HID 램프의 관등회로(램프와 안정기 사이의 전선) 전선 선정과 관련된 규정 및 지침이 명확히 제시되고 있지 않아 산업현장에서는 많은 혼란이 발생되고 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 산업현장에서 사용되고 있는 관등회로 전선과 관련된 현장실태조사를 통하여 문제점을 제시하고 이론적 고찰 및 시뮬레이션, 실험을 통하여 관등회로 전선 선정에 필요한 전선의 길이, 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압 감쇄 그래프를 제시하였다.

HID 램프의 이그니션 전압은 고주파수 임펄스형 형태를 갖고 있으며, 고전압·대전류 점등특성으로 인하여 관등회로가 길어질 경우, 램프 점등 실패 및 램프와 안정기의 효율저하 현상이 발생할 수 있어 일반적으로 정격전류 이상의 허용전류가 가능한 전선을 사용하고 있다. 또한 전기설비기술기준, 내선규정, 한국조명공업규격 등에서 관등회로 전선 굵기 선정과 관련된 기준이 정확히 제시되지 않고 있으며, 한국조명공업규격에서 안정기 인출선 규격으로 0.75mm² 이상의 전선을 사용하도록 규정하고 있을 뿐이다.[1]

따라서 본 논문에서는 현재 산업현장에서 사용되고 있는 관등회로 전선과 관련된 현장실태조사를 통하여 문제점을 제시하고, 안정기의 이그니션 전압·전류 특성을 분석하였으며, 관등회로 전선의 임피던스 분석, 이론적 고찰 및 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 현장실태조사를 통하여 분석된 전선, 안정기, 램프를 선택하여 전선의 길이, 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압 감쇄 실험을 실시하였다.

현장실태조사는 전국적으로 관등회로 전선의 길이가 15m 이상인 장소 41개소를 실시하였으며, 안정기의 이그니션 전압·전류 특성 분석은 제조회사가 다른 램프 6종을 사용하여 실험하였다. 관등회로 전선의 임피던스 분석 및 이론적 고찰, 시뮬레이션을 Matlab을 사용하여 분석하였다.

이그니션 전압 감쇄현상 분석을 위하여 실험에 사용된 안정기는 자기식 안정기 NH(나트륨램프) 250W, NH400W, 전자식 안정기 MH(메탈헬라이트) 250W를 사용하였으며, 관등회로 전선은 KS 규격 및 전기설비기술기준에 의해 CV 전선과 VCTF 전선을 사용하였고 현장실태조사 결과에 따라 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 CV 2C/2.0mm², CV 2C/3.5mm², VCTF 2C/1.5mm², VCTF 2C/2.5mm²를 사용하였다. 또한 전선의 길이는 25m, 50m, 75m, 100m를 사용하였고 노출상태에서 실험하였다.

2. 본 론

2.1 관등회로 전선의 사용 실태 분석

전기설비기술기준, 내선규정, 한국조명공업규격 등에서 관등회로 전선의 길이, 굵기 선정과 관련된 기준이 명확히 제시되고 있지 않아 산업현장에서는 많은 혼란이 발생되고 있다. 따라서 전국적으로 안정기와 램프사이의 거리가 15m 이상인 장소를 현장실태조사 하였고, 조사된 41개소에 대하여 분석하였다.

관등회로 전선의 길이를 조사한 결과, 표 1과 같이 20m를 초과하고 30m이하인 장소가 24개소로 가장 많았으며, 20m이하의 장소가 13개소, 30m를 초과하는 장소가 4개소로 나타났다. 30m를 초과하는 장소로는 40m 1개소, 60m 2개소, 100m 1개소로 조사되어 최근, 관등회로 전선의

길이가 매우 길어지고 있음을 알 수 있다.

<표 1> 관등회로 전선 길이

전선길이	20m 이하	30m 이하	30m 초과	계
개 소	13	24	4	41

관등회로 전선의 종류 및 굵기를 조사한 결과, 표 2와 같이 CV 전선이 가장 많이 사용하고 있는 것으로 조사되었으며, 길이가 짧은 장소에서는 VCTF 전선이 많이 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 전선의 굵기는 3.5mm²를 사용하고 있는 장소가 15개소로 가장 많았으며, 다음으로는 5.5mm²를 사용하는 장소가 10개소, 2mm² 전선을 사용하는 장소가 6개소로 나타났다.

<표 2> 관등회로 전선 종류 및 굵기

전선종류	CV 2.0mm ²	CV 3.5mm ²	CV 5.5mm ²	VCTF2mm ²	기타	계
개 소	6	15	10	6	4	41

안정기 분전반(함) 또는 안정기에 인입되는 전선의 종류 및 굵기를 조사한 결과, 표 3과 같이 모든 장소에서 CV 전선을 사용하고 있으며, 케이블의 굵기는 5.5mm²가 19개소로서 가장 많았고, 8mm² 9개소, 3.5mm² 8개소, 22mm²가 3개소로 조사되었다.

<표 3> 안정기 인입 전선 종류 및 굵기

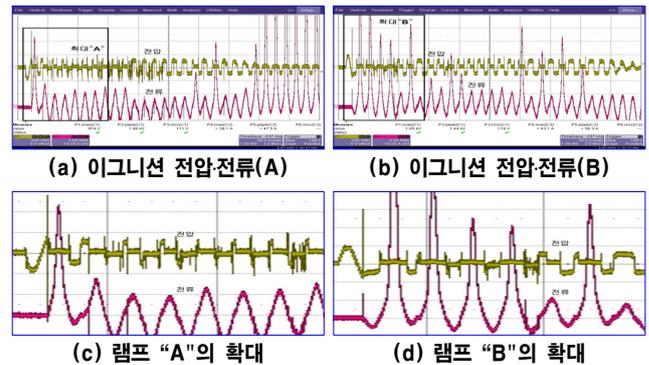
전선종류	CV 3.5mm ²	CV 5.5mm ²	CV 8mm ²	CV 22mm ²	기타	계
개 소	8	19	9	3	2	41

관등회로 전선으로 가장 많이 사용되고 있는 CV 전선의 허용전류를 살펴보면, 관로인입포설 2심일 경우 2.0mm²는 26A, 3.5mm²는 36A, 5.5mm²는 47A이며, HID 램프의 정격전류를 살펴보면, MH 1000W는 4.0~8.3A, MH 400W는 3.25~3.65A, MH 250W는 2.1~3.0A이다.[2] 따라서 HID 램프의 정격전류만을 고려할 경우, 현장실태조사 결과로 나타난 관등회로 전선은 전류 감소계수를 고려하여도 너무 굵은 전선으로 시공되고 있는 문제점이 있다. 그러나 HID 램프의 관등회로 전선은 정격전류뿐만 아니라 이그니션 전압·전류 특성 등을 고려하여 선정되어야 한다.

2.2 HID 램프의 이그니션 전압전류 특성 분석

현장실태조사 결과 전자식 안정기는 산업현장에 많이 보급되지 않고 있어 자기식 안정기 및 램프에 대한 이그니션 전압·전류 특성만을 분석하였다.

그림 1 (a), (b)는 HID 램프 MH 400W 2종의 이그니션 전압·전류를 측정된 파형이고 (c), (d)는 이그니션 전압·전류를 확대한 파형이다.



<그림 1> HID 램프의 이그니션 전압전류 파형 (350V/div, 5A/div)

HID 램프의 이그니션 전압·전류는 램프 및 안정기의 수명, 고전압 발생으로 인한 안전 측면, 관등회로의 전선 굵기 선정 등의 측면에서 매우 중요하다. 그림 1의 측정 램프는 1회 또는 2회 이내의 이그니션 전압 발생으로 램프는 점등되었으나, 이그니션 전류는 수 회 또는 수십 회 점등 전류(Run-up)가 공급되고 있음을 알 수 있다.

램프 A의 이그니션 전압은 1.98[kVpk-pk]로 나타나고 있으며, 이그니션 전압 발생에 따라 35[A] 이상의 이그니션 전류가 램프로 공급되고 있다. 또한 램프 B의 이그니션 전압은 1.44[kVpk-pk]로 나타나고 있으며, 이그니션 전압 발생에 따라 35[A] 이상의 이그니션 전류가 램프로 공급되고 있음을 알 수 있다. 또한 램프 상태에 따라 점등전류(Run-up)가 불규칙적으로 공급되고, 점등 전류로 인하여 이그니션 전압이 강하여 큰 점등 전류 발생 시에는 전압이 형성되지 않고 있음을 알 수 있다. 표 4는 HID 램프 MH 400W 6종에 대하여 측정된 이그니션 전압·전류의 전기적 특성을 정리하여 나타내었다.

<표 4> HID 램프의 이그니션 전압·전류 특성

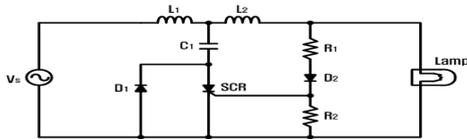
램프	이그니션 전압			이그니션 전류	
	Vmax [kV]	Vpkpk [kV]	Vrms [V]	Imax [A]	Ipkpk [A]
A	0.94	1.98	111	38.1	47.5
B	1.05	1.44	119	43.1	56.3
C	1.08	2.17	104	41.5	49.3
D	1.07	2.17	115	29.1	35.1
E	0.77	1.24	94	43.1	56.3
F	1.05	1.67	117	43.1	48.2

이그니션 전압 중 Vmax는 0.77~1.08[kV]로 측정되었으며, Vpkpk는 1.24~2.17[kV], Vrms는 94~119[V]로 측정되었다. 이그니션 전류 중 Imax는 29.1~43.1[A]로 측정되었으며, Ipkpk는 35.1~56.3[A]로 측정되었다.

2.3 이론적 고찰 및 시뮬레이션

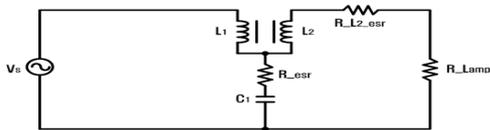
2.3.1 자기식 안정기의 등가 모델링

HID 램프는 부성저항 특성을 갖고 있으며, 이러한 전기적 특성으로 인하여 반드시 안정기가 요구된다. HID 램프는 초기 점등을 위하여 최소 1[kV] 이상의 높은 이그니션 전압과 점등 유지를 위한 큰 이그니션 전류(Run-up)가 필요하여 별도의 점등회로를 갖게 된다. 그림 2는 본 논문에서 사용한 저주파수로 동작하는 실험용 자기식 안정기의 구조도이다.



<그림 2> 자기식 안정기의 구조

정상상태에서는 L1과 L2 및 역률 개선용 커패시터만이 관여하여 램프에 전력을 공급한다. 이그니션 상태에서는 램프가 open 상태이며, R1과 R2의 전압분배에 의해 SCR이 턴-온하게 되고 L1과 C1에 전류 루프가 형성된다. SCR이 턴-온 되는 순간 L1과 C1로 인해 Damping 현상이 발생되고, 이러한 Damping으로 인하여 발생되는 고전압을 이용하여 점등하게 된다. L1과 L2는 단권변압기의 구조를 갖고 있으며, L1의 양단 전압의 턴-수비에 의하여 L2에 고전압을 형성시키게 된다. 그림 3은 그림 2의 자기식 안정기를 등가한 회로이다.



<그림 3> 자기식 안정기의 등가회로

입력전압 Vs가 268V가 될 때 SCR이 턴-온하게 되고, L1, C1의 Damping 현상으로 고전압이 발생되며, 이 전압을 본 논문에서는 구형파 전압으로 가정하였다. 그리고 L1, C1의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였다. 그림 3에서 L1의 전압은 식 (1)과 같다.

$$V_{L1} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{esr}}{L_1}s + \frac{1}{L_1 C_1}} \frac{V_1}{s} \quad (1)$$

여기서, $Q = \frac{1}{R_{esr}} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ 이 되고, 램프 양단의 전압은 트랜스포머의 턴-수비에 의해서 결정되며, 식 (2)과 같다.

$$V_{Lamp} = (V_C + V_{R_{esr}}) - n V_{L2} \quad (2)$$

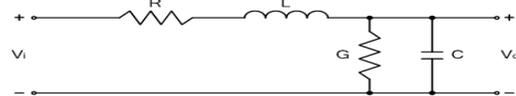
2.3.2 관등회로 전선의 등가 모델링

케이블의 길이가 비교적 긴 경우에는 대지용량(Self capacitance)과 대선용량(Mutual capacitance)이 존재하지만, 대지용량은 시공 상태에 따라 변화가 많고 대지와 직접 접촉되지 않을 경우 매우 작아지므로 측정을 제외하였다. 본 논문에서 사용된 관등회로 전선의 임피던스는 참고문헌 [1], [3]와 HIOKI 353250-50 LCR HITESTER로 측정된 값을 비교하여 표 2와 같이 정리하였다.[1][3][4]

<표 5> 관등회로 전선의 임피던스

전선 종류	저항[Ω/km]	인덕턴스[mH/km]	커패시턴스[μF/km]
CV 2C/2.0mm ²	9.79	0.316	1.545
CV 2C/3.5mm ²	6.76	0.308	1.540
VCTF 2C/1.5mm ²	11.81	0.547	2.236
VCTF 2C/2.5mm ²	10.03	0.512	2.117

본 논문에서 관등회로 전선과 관련된 실험을 위하여 사용된 전선은 CV 전선과 VCTF 전선이며, 그림 4와 같은 등가회로로써 표현할 수 있다.[5][6]



<그림 4> 관등회로 전선의 등가회로

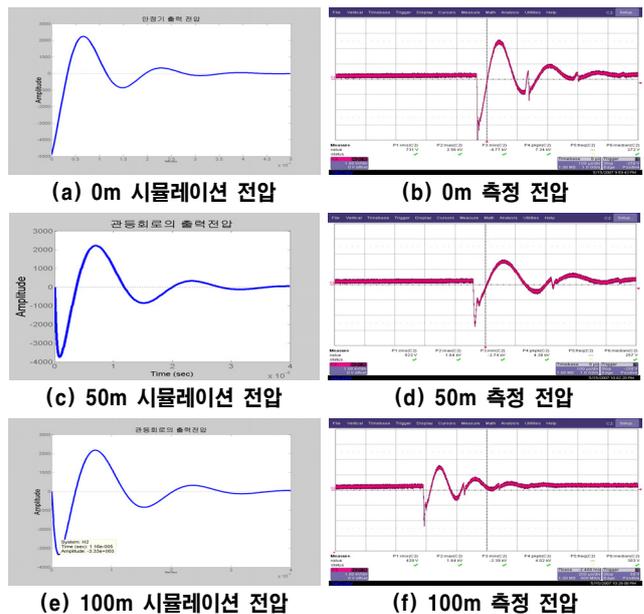
그림 4의 전달함수를 구하면 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$H(s) = \frac{1/LC}{s^2 + \frac{R}{L}s + (\frac{R}{GL} + \frac{1}{LC})} \quad (3)$$

2.3.3 시뮬레이션 결과

관등회로 전선의 길이에 따른 R, L, G, C의 영향에 의한 이그니션 전압의 감쇄특성을 알아보기 위해서 수식 (2)과 수식 (3)을 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 입력은 구형파 입력으로 가정하였다.

그림 5는 자기식 안정기 NH 250W, CV 2C/2.0mm²를 사용할 경우, 안정기의 출력 이그니션 전압과 관등회로 전선 50m, 100m에서의 시뮬레이션 파형과 실험파형이다.



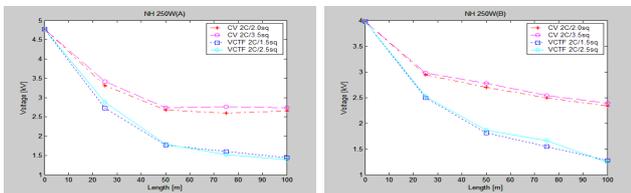
<그림 5> 관등회로 전선 길이에 따른 이그니션 전압 (1kV/div)(100us/div)

그림 5(a)는 L, C에 의한 진동 주파수와 각 소자의 ESR에 의한 감쇄 특성을 알 수 있으며, 안정기 출력 이그니션 전압은 시뮬레이션 최대값 4.8[kV], 측정 최대값 4.77[kV]이다. 관등회로 전선 50[m]에서는 시뮬레이션 최대값 3.8[kV], 측정 최대값 2.74[kV]이며, 100[m]에서는 시뮬레이션 최대값 3.3[kV], 측정 최대값 2.39[kV]로 나타나고 있어 시뮬레이션에 의해서도 R, L, G, C에 의해 전압이 감소하는 것을 알 수 있다.

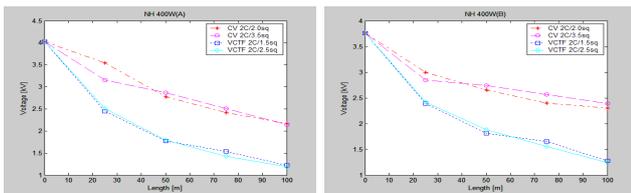
2.4 실험 결과 및 분석

HID 램프의 이그니션 전압은 고주파수 임펄스성 형태를 갖고 있어 관등회로 전선이 길어질 경우, 이그니션 전압이 감쇄되어 램프가 점등되지 않을 수 있어 일반적으로 정격전류 이상의 허용전류가 가능한 전선을 사용하고 있다.

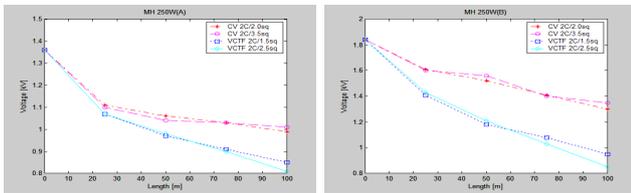
관등회로 전선의 길이, 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압 감쇄 현상을 실험을 통하여 분석하였으며, 실험에 사용된 안정기는 자기식 NH(나트륨램프) 250W 2종류, NH400W 2종류이고, 전자식 MH(메탈헬라이드) 250W 2종류를 사용하였으며, 관등회로 전선은 KS 규격 및 전기설비기술기준에 의해 CV 전선과 VCTF 전선을 사용하였고 현장실태조사 결과에 따라 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 CV 2C/2.0mm², CV 2C/3.5mm², VCTF 2C/1.5mm², VCTF 2C/2.5mm²를 사용하였다. 전선의 길이는 25m, 50m, 75m, 100m를 사용하였고 노출상태에서 실험하였다. 실험결과를 전선 길이에 따른 이그니션 전압을 전선 종류에 따라 그림 6과 같이 그래프로 제시하였다



(a) NH250W(A) 이그니션 전압 (b) NH250W(B) 이그니션 전압



(c) NH400W(A) 이그니션 전압 (d) NH400W(B) 이그니션 전압



(e) MH250W(A) 이그니션 전압 (f) MH250W(B) 이그니션 전압

<그림 6> 관등회로 전선 길이에 따른 이그니션 전압 감소 특성

분석결과 자기식 안정기 NH 250W의 이그니션 전압은 3.98kV, 4.77kV이며, 50m 길이에서 CV 전선은 31~45% 감소하였고, VCTF 전선은 54~63% 감소하였다. 100m 길이에서 CV 전선은 40~45% 감소하였고, VCTF 전선은 70% 정도 감소하였다. 자기식 안정기 NH 400W의 이그니션 전압은 4.02kV, 3.76kV이며, 50m 길이에서 CV 전선은 30% 정도 감소하였고, VCTF 전선은 50~56% 감소하였다. 100m 길이에서 CV 전선은 40~47% 감소하였고, VCTF 전선은 66~71% 정도 감소하였다. 전자식 안정기 MH 250W의 이그니션 전압은 1.36kV, 1.84kV이며, 50m 길이에서 CV 전선은 16~24% 정도 감소하였고, VCTF 전선은 28~36% 감소하였다. 100m 길이에서 CV 전선은 30% 정도 감소하였고, VCTF 전선은 40~54% 감소하였다.

관등회로 전선의 길이에 따른 이그니션 전압의 감소는 이그니션 전압이 고주파수(자기식 안정기의 이그니션 주파수는 4~6kHz, 전자식 안정기의 이그니션 주파수는 60~120kHz)이며, 임펄스성 형태를 갖고 있어 전선의 임피던스 R, L, G, C의 영향을 받아 감쇄 현상이 뚜렷이 나타남을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 HID 램프 관등회로의 전선 길이, 전선의 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압·전류 특성 분석에 관한 것으로, 현장실태조사를 통

하여 문제점 제시하고 이그니션 전압·전류 특성을 분석하였으며, 실험을 통하여 전선의 길이, 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압 감쇄 그래프를 제시하였다.

HID 램프의 이그니션 전압·전류 특성을 분석한 결과, 제조회사별, 램프 상태에 따라 이그니션 특성이 매우 상이함을 알 수 있었으며, 램프 공급전류는 글로우(glow)방전, 아크(arc)방전으로 불규칙적인 40[A] 이상의 큰 전류(run-up)가 발생되고, 큰 전류로 인하여 이그니션 전압이 강하되어 전압이 형성되지 않고 있음을 알 수 있었다.

관등회로 전선의 길이, 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압 감쇄 현상을 실험을 통하여 분석한 결과, 안정기의 이그니션 전압은 1.36kV, 4.77kV이며, 50m 길이에서 CV 전선은 16~45% 감소하였고, VCTF 전선은 28~63% 감소하였다. 100m 길이에서 CV 전선은 26~47% 정도 감소하였고, VCTF 전선은 48~70% 감소하였다. 관등회로 전선의 길이에 따른 이그니션 전압의 감소는 이그니션 전압이 고주파수(자기식 안정기의 이그니션 주파수는 4~6kHz, 전자식 안정기의 이그니션 주파수는 60~120kHz)이며, 임펄스성 형태를 갖고 있어 전선의 임피던스 R, L, G, C의 영향을 받아 감쇄 현상이 뚜렷이 나타남을 확인할 수 있다.

그러므로 관등회로 전선의 굵기 선정은 HID 램프 정격전류만으로 결정할 수 없으며, 이그니션 상태에서의 점등전류(Run-up)와 이그니션 전압이 고려되어야 한다. 추후 많은 종류의 안정기, 램프에 대한 정밀한 실험 및 시뮬레이션을 통하여 전선길이에 따른 관등회로 전선종류, 굵기 선정 자료를 제시하고자 한다.

본 논문은 HID 램프 관등회로의 전선 길이, 전선의 종류, 굵기에 따른 이그니션 전압·전류 특성 분석에 관한 것으로, HID 램프 시공 산업 현장에서 관등회로 전선 길이에 따른 전선의 종류, 굵기 선정에 필요한 자료로 활용하며, 자기식 안정기의 성능 향상 및 전자식 안정기 개발 자료로 활용할 수 있다.

본 연구는 한국전기공사협회의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] 박종연, 정광현, “케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성분석”, 한국조명·전기설비학회, Vol.20, No.6, pp.9~17, 2006.7
- [2] KS 규격, “KS C 8109”, 기술표준원, 2004
- [3] 백수현, 송진호, 이형수, 김대경, “가로등 안전관리대책 학술연구 용역”, 서울특별시·대한전기학회, pp.179~235, 2002.9
- [4] Chr. Meyer, H. Nienhuis, “Discharge Lamps”, Philips Technical Library, pp.215~248, 1988
- [5] Doron Shmilovitz, Sigmond Singer, “High-Frequency Operated converters based on Transmission Lines”, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.11, No1, Jan.1996.
- [6] Doron Shmilovitz, Sigmond Singer, “Pulsed Power Generation by Means of Transmission Lines”, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.18, No1, Jan.2003.