

# HID 램프용 점화기와 램프간 거리에 따른 점등 특성 분석

(Ignition Characteristics Analysis According to the Cable Length Between the Ignition and Lamp)

박종연\* · 김기남

(Chong-Yeun Park · Ki-Nam Kim)

## 요 약

본 논문에서는 HID 램프의 점등을 위한 3종의 점화기 비교 및 구동원리를 나타내었다. 또한 점화기와 램프사이의 케이블 길이에 따른 특성을 이론적 검증과 실험을 통하여 분석하였다. 점등전압은 점화기 구조와 케이블 길이 및 특성에 따라 달라지기 때문에 현장에서 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 본 논문에서는 LC공진 타입의 점화기, Arc gap을 이용한 점화기, 주파수 가변을 통한 점화기를 대상으로 케이블 25[m] 거리에서 측정 및 분석하였다. 각각의 점화기 비교 및 케이블 특성을 분석하여 현장에서의 문제점을 해결할 방안을 제시하였다.

## Abstract

We compared 3 kinds of ignitor characteristics and represented the procedure in order to turn the HID lamp on. Also, we analysed the cable characteristic based on the length between ignitor and the HID lamp and proved it theoretically. In practice, the ignition voltage contains a lot of problems because it is easily changed by the structure of ignitors, cable length and characteristics. In this paper, therefore, 3 ignitors, which are LC resonant typed, arc-gap circuit typed and drive frequency variable typed, have simulated and analysed with the 25[m] cable length. After careful consideration of comparisons made of all the ignitors' and cables' characteristics, a number of possible solutions were finalized.

Key Words : Ignitor, Cable, HID Lamp

## 1. 서 론

HID 램프는 다른 광원에 비해서, 연색성과 광 효율이 우수하고, 수명이 비교적 길다는 장점을 가지고 있다. 하지만 램프 점등을 위한 시동 전압과, 램프가 가열된 상태에서의 재 점등 전압이 높고, 방전관 용량과 스위칭 주파수에 따라 음향 공명 현상이 발생할 가능성이 크기 때문에 HID 램프에 대한 전자

\* 주저자 : 강원대학교 전기전자전공 교수  
Tel : 033-250-6292, Fax : 033-241-3775

E-mail : cypark@kangwon.ac.kr

접수일자 : 2009년 1월 9일

1차심사 : 2009년 1월 12일, 2차심사 : 2009년 3월 4일

심사완료 : 2009년 4월 22일

식 안정기 개발이 어려웠다[1].

최근 HID 램프들에 대한 안정기로서 자기식 안정기에서 전자식 안정기로 대체하려는 많은 연구가 시도되고 있다.

HID 램프들의 전자식 안정기 설계의 어려운 문제 중의 하나는 별도의 점화기가 필요하다는 것이다. 이는 점등 시 HID 광원의 경우 형광등의 경우보다 매우 높은 시동 전압이 필요하고 그 크기는 방전관의 종류에 따라 1~5[kV]의 고전압이 요구되기도 한다. 점등 시 물리적인 메카니즘이 매우 복잡한 관계도 점화기 설계 제작이 쉽지 않은 원인이기도 하다[2-3].

HID 램프의 용도에 따라 설치 시에 램프와 안정기간의 일정한 거리를 가지게 되며, 그 거리를 연결하는 전선의 길이 및 종류에 따라 램프에 공급되는 점등 전압, 정상 상태의 전력이 다르게 된다. 또한 안정기의 구동 방식에 따라 전선의 길이 및 종류가 미치는 영향 또한 다르다[4].

본 논문에서는 HID 램프 중 메탈 헬라이드 램프의 각 종 점화기 비교 및 구동 방식이 다른 3 종류의 안정기를 이용하여 25[m]의 케이블 길이에 따라 램프에 미치는 영향을 알아보았다.

## 2. 본 론

### 2.1 MHD용 안정기의 점화기 구조

MHD 램프를 점등시키기 위해서는 방전관의 종류에 따라 1~5[kV]의 고전압이 요구된다. 점화기는 하프 브릿지 인버터와 풀 브릿지 인버터에 따라 구조를 구분 지을 수 있다. 하프 브릿지 인버터의 경우 주파수 가변을 이용한 점화기, Arc-gap, SCR과 같은 반도체 소자를 사용한 점화기가 사용되기 용이하다. 풀 브릿지 인버터의 경우에는 LC 공진특성을 이용한 점화기가 사용되기 용이하다.

#### 2.1.1 LC 공진특성을 이용한 점화기

점등 전의 램프의 임피던스는 무한대에 가깝기 때문에 L1은 임피던스 측면에서 무시할 수 있으며, 램프의 동작 전 점화기가 가지는 전압 전달 함수는 식 (1)과 같다[5].

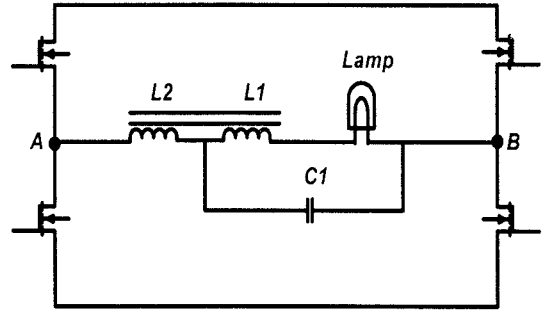


그림 1. LC 공진특성을 이용한 점화기  
Fig. 1. Ignitor using LC resonance

$$\frac{V_{R_{lamp}}(s)}{V_{AB1}(s)} = \frac{1}{1 + \frac{sL_2}{R_{lamp}} + s^2L_2C_1} \quad (1)$$

여기서  $V_{R_{lamp}}$ 는 램프 임피던스에 인가되는 전압이며,  $V_{AB1}$ 은 풀 브릿지 인버터에 의해서 램프를 포함한 LC 공진부에 공급되는 구형파의 기본과 성분을 의미한다. 이로 인해 변압기와 커패시터의 양단 전압에 Damping 현상이 발생하게 된다. 발생한 Damping 현상은 Under Damping 형태로 설계되어 있으므로 변압기의 1차측인 L2에 최대 입력 전압의 2배의 전압이 발생하게 된다. 발생한 전압은 변압기의 턴 수비에 의해 2차측(L1)으로 고전압이 유기 되고, 이 전압은 램프 양단 전압으로 공급되어 방전관의 절연이 파괴되면서 램프의 점등이 시작된다.

점등이 시작되면  $R_{lamp}$ 는 수십  $\Omega$ 에서 수백  $\Omega$ 으로 감소하게 되고, 전달 함수는 저역 통과 필터 특성을 갖게 된다. 이때  $R_{lamp}$  값이 매우 작게 되면, 병렬 공진 특성에서 첨예도 Q가 작아지는 형태이므로, 더 이상 공진 현상을 갖지 않게 된다.

다음은 그림 1의 회로를 P-spice를 통해 확인하였다. 시뮬레이션은 250[W] MHD 램프용 전자식 안정기를 모델로 하였다.

시뮬레이션 결과  $R_{lamp}$ 에는 약 4.6[kV]의 점등전압이 공급되었다. 점등전압은 LC 병렬 공진 회로와 구형파로 동작하는 인버터 특성으로 인해 구형파와 구형파의 고조파 성분, LC 병렬 공진 특성으로 인해서 램프 동작 주파수에 동기 되어 발생하였다.

HID 램프용 점화기와 램프간 거리에 따른 점등 특성 분석

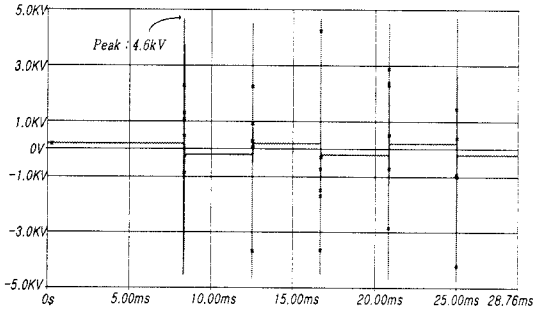


그림 2. LC 공진특성을 이용한 점화기 시뮬레이션 결과  
Fig. 2. The simulation result of an ignitor using LC resonance

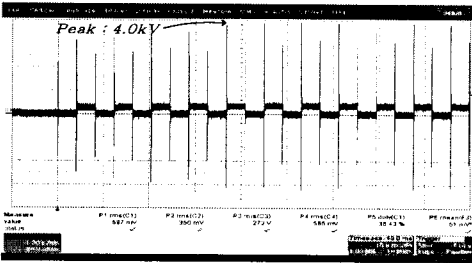


그림 3. LC 공진특성을 이용한 점화기 실험 결과 (20.0(m)/1.00(kV) div)  
Fig. 3. The experimental result of an ignitor using LC resonance

실험 결과 4.0[kV]이상의 전압이 시뮬레이션 결과와 동일하게  $R_{lamp}$ 에 공급됨을 확인 하였다. 이때 Ignition pulse의 주파수는 약 367[kHz]로 나타났다.

2.1.2 Arc gap을 이용한 점화기

Arc gap을 이용한 점화기는 Arc gap과 고전압 펄스 변압기로 구성이 된다. 설계에 따라 점화기는 두 종류의 구조로 나뉘게 된다. SCR과 같은 스위칭 소자를 이용한 경우보다 더 높은 점등전압을 발생시키는 원인은 Arc gap의 동작 시간이 SCR과 같은 스위칭 소자보다 더 짧기 때문이다.

$$V_L = L \frac{di(t)}{dt} \quad (2)$$

식 (2)에서 L과 I가 고정일 때 t가 작게 되면 상대적으로  $V_L$ 은 커지게 된다. 따라서 Arc gap이 다른 스위칭 소자보다 높은 점등전압을 발생시키게 된다.

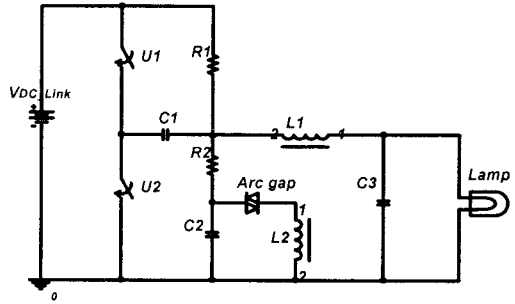


그림 4. Arc gap을 이용한 1-stage 점화기  
Fig. 4. 1-stage ignitor using Arc gap

위의 회로는 하나의 Arc gap과 고전압 펄스 변압기를 사용한 형태로 초기  $C_2$ 에 전압이 charge된다.  $C_2$ 의 전압이 Arc gap의 Breakover Voltage까지 charge가 되면 Arc gap이 짧은 시간동안 도통이 되어 L2에 역기전력을 공급하게 된다. L2에 발생된 전압은 턴 수비에 의해 L1에 전달이 되어 높은 점등전압이 램프에 인가된다. 이 때 Ignition pulse의 주파수는 약 667[kHz]로 나타났다.

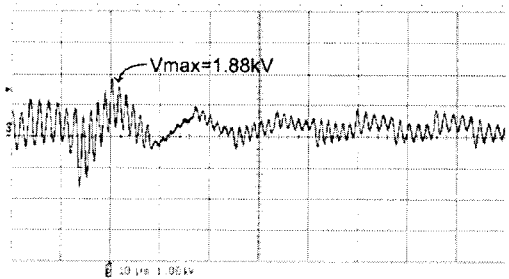


그림 5. 1-stage 점화기 실험결과(10(u)/1.00(kV) div)  
Fig. 5. The experimental result of 1-stage ignitor

2.1.3 주파수 가변을 이용한 점화기

그림 6에 Half-bridge Inverter를 나타내었다. 램프에 공급되는 전압과 전류는  $L_s$ ,  $C_s$ ,  $C_p$ 로 구성되어 있는 LCC공진 필터의 공진 특성 및 램프의 임피던스에 의해 결정된다. 점등 전 램프의 임피던스는 무한대 저항으로 등가 할 수 있으며, 점등이 된 직후에는 수십  $\Omega$ 에서 수백  $\Omega$ 으로 등가 할 수 있다. 점등과정 동안 램프의 임피던스는 계속 변화하며 점등과정이 끝나면 일정한 임피던스를 갖게 된다. 이러한 램프의 변화 때문에 공진필터의 특성은 그림 9와 같

이 변화하게 되며, 점등을 위한 점등전압을 별도의 점화기 없이 주파수 변화로 형성시킬 수 있다.

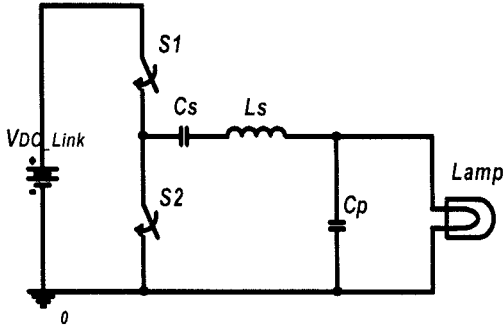


그림 6. MHD 램프용 인버터 회로  
Fig. 6. The inverter circuit for MHD lamp

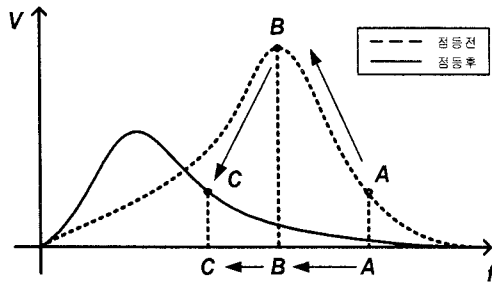


그림 7. 스위칭 주파수에 따른 점등 과정  
Fig. 7. The ignition process according to the variation of switching frequencies

점등 전 램프는 무한대로 증가 될 시 공진커패는 그림 7에서 점선으로 나타낸 것과 같이 형성된다. 또한 정상상태의 공진커패는 실선으로 나타낸 것과 같다. 따라서 점등을 위한 주파수는 A→B→C로 이동시켜야 하며, B점에서 점등이 이루어지면 램프의 임피던스가 변하게 되고 공진커패는 변화하기 시작한다. 이때 공진커패가 바로 정상상태의 공진커패로 가는 것이 아니라 B→C로 가는 과정에서 공진커패가 변화한다.

## 2.2 안정기와 램프간 거리에 따른 특성 분석

케이블은 다음의 그림 10과 같은 등가회로로써 표현 할 수 있다[6-7].

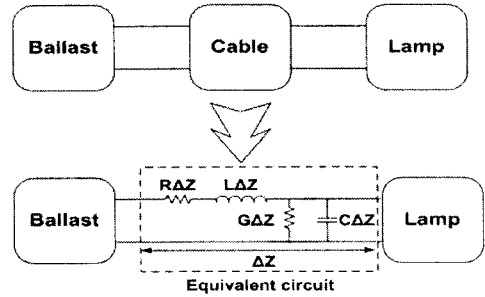


그림 8. 케이블 등가 회로  
Fig. 8. Equivalent circuit of Cable

현재 현장에서 쓰이는 가로등 전선을 R, L, C, G값으로 특성을 알 수 있다. 가로등의 램프와 안정기간의 전선은 일반적으로 KS 규격[8]의 가교 폴리에틸렌 케이블(VCTF)을 주로 사용하고, 측정된 VCTF 전선에 대한 데이터는 표 1과 같다.

표 1. 대한전선 Cable 특성(VCTF)  
Table 1. Features of Taihan Electric Wire cable

공칭 단면적	2[mm <sup>2</sup> ]
저항	9.79[Ω]/[km]
커패시턴스	1.545[μF]/[km]
인덕턴스	0.316[mH]/[km]

### 2.2.1 케이블의 점화기에 대한 영향 분석

그림 1의 점화기에 케이블을 연결하게 되면 다음과 같이 등가 모델링 할 수 있다.

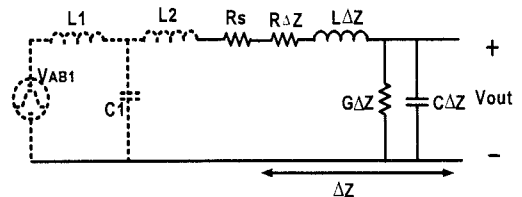


그림 9. LC 공진특성을 이용한 점화기 + 케이블 등가회로  
Fig. 9. Equivalent circuit of an ignitor using LC resonance with cable

위의 그림은 LC 공진특성을 이용한 점화기에 케이블을 연결했을 때 등가회로이다. 케이블의 길이는 25[m]로 하였고, 이때 권선 저항  $R_s=20[\Omega]$ ,  $R=$

HID 램프용 점화기와 램프간 거리에 따른 점등 특성 분석

0.2447[Ω], L=7.9[uH], C=38.6[nF], G=0.01[nS]로 값을 얻었다. 또한 L1=4[uH], L2=667[uH], C1=47[nF]이다. 점화기의 출력을 계산했을 때 약 4.9[kV]이며, 케이블을 지났을 때 출력  $V_{out}$ 은 약 2.6[kV]로 계산되었다. 이를 확인하기 위해 시뮬레이션을 하였다.

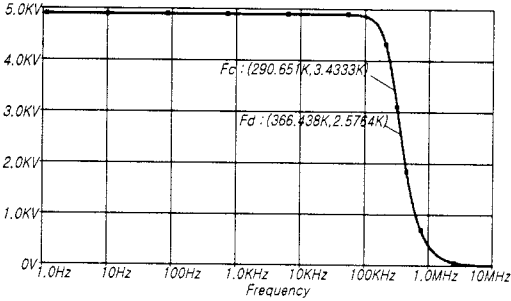


그림 10. LC 공진특성을 이용한 점화기 + 케이블 시뮬레이션 결과

Fig. 10. The simulation result of an ignitor using LC resonance with cable

LC공진특성을 이용한 점화기의 경우 Ignition pulse 주파수는 다음의 수식에 의해 구할 수 있다.

$$Fd = \frac{1}{2\pi \sqrt{L1 \cdot C1}} \quad (3)$$

이렇게 구해진 값은 약 367[kHz]이며, 전압은 약 2.6[kV]로 시뮬레이션 결과 이론 치와 유사함을 알 수 있다.

다음은 Arc gap을 이용한 점화기에 케이블을 연결 하였을 때 등가 회로 이다.

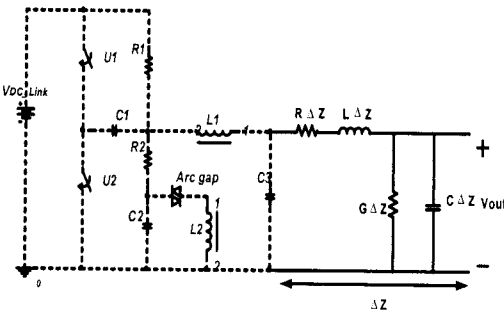


그림 11. Arc gap을 이용한 점화기 + 케이블 등가회로  
Fig. 11. Equivalent circuit of 1-stage ignitor using Arc gap with cable

점화기는 Arc gap의 턴은 주기에 맞추어 동작을 한다. 이 때 발생하는 전압은 약 1.9[kV]이며, Ignition pulse 주파수는 약 667[kHz]이다. 케이블을 통과했을 때, 전압은 약 400[V]로 나타났다.

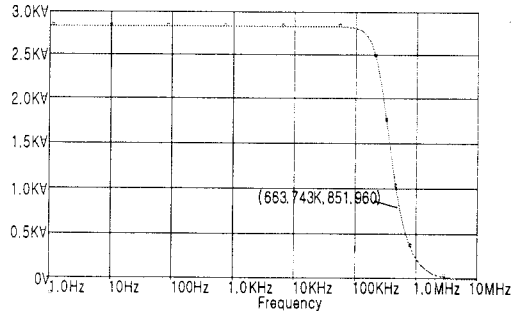


그림 12. Arc gap을 이용한 점화기 + 케이블 시뮬레이션 결과

Fig. 12. The simulation result of an ignitor using Arc gap with cable

시뮬레이션 결과 663[kHz]에 약 851[V]의 전압이 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

다음은 주파수 가변을 이용한 점화기에 케이블을 연결한 등가회로이다.

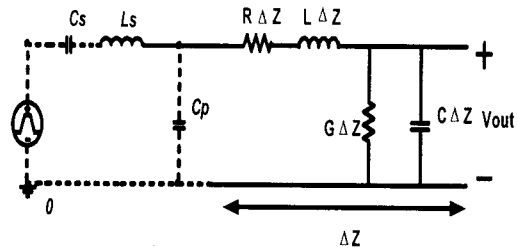


그림 13. 주파수 가변을 이용한 점화기 + 케이블 등가회로

Fig. 13. Equivalent circuit of an ignitor using frequency control with cable

그림 9에서 point B의 주파수는 다음의 수식에 의해 얻을 수 있다.

$$f_{ignition} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s (C_s // C_p)}} \quad (4)$$

Point B의 주파수는 식 (3)에 의해 약 167[kHz]이

며, 점등 전압은 2.5[kV]가 된다. 이 때 케이블을 통과했을 때 약 2.3[kV]로 나타났다.

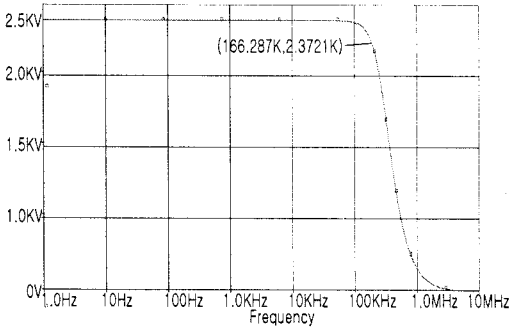


그림 14. 주파수 가변을 이용한 점화기 + 케이블 시뮬레이션 결과  
 Fig. 14. The simulation result of an ignitor using frequency control with cable

시뮬레이션 결과 167[kHz]에서 약 2.4[kV]의 전압이 나타남을 확인하였다.

### 2.2.2 케이블의 점화기에 대한 실험 결과

LC공진특성을 이용한 점화기에 케이블을 연결했을 때 출력은 다음과 같이 나타난다.

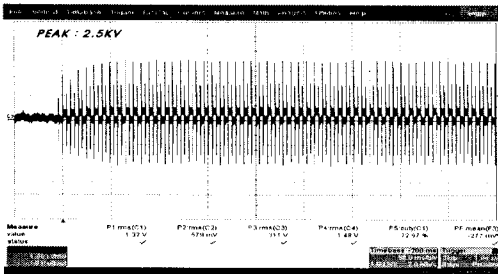


그림 15. LC 공진특성을 이용한 점화기 + 케이블 실험 결과(50(m)/1.00(kV) div)  
 Fig. 15. The experimental result of an ignitor using LC resonance with cable

실험 결과 앞서 시뮬레이션 했을 때와 같이 케이블 특성에 따라 점등 전압은 약 2.5[kV]로 감소하였다.

Arc gap을 이용한 점화기에 케이블을 연결 했을 때 출력은 다음과 같이 나타난다.

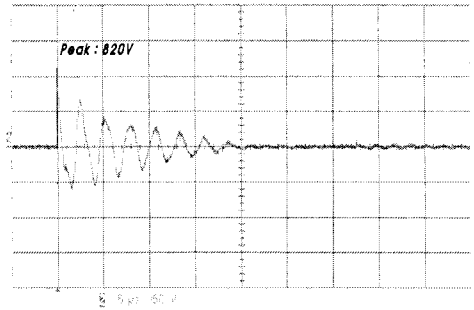


그림 16. Arc gap을 이용한 점화기 + 케이블 실험결과(5u/350[V] div)  
 Fig. 16. The experimental result of an ignitor using Arc gap with cable

실험 결과 시뮬레이션과 약간의 오차가 있었으나 거의 근접한 값을 나타내었다.

마지막으로 주파수 가변을 이용한 점화기에 대한 실험 결과를 그림 17에 나타내었다.

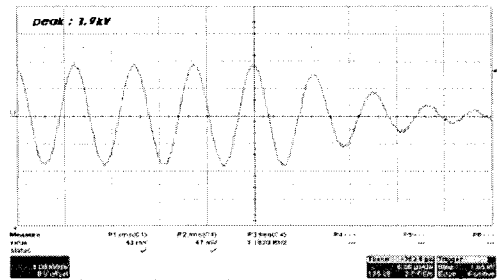


그림 17. 주파수 가변을 이용한 점화기 + 케이블 실험 결과(5u/1.00(kV) div)  
 Fig. 17. The experimental result of an ignitor using frequency control with cable

실험 결과 최종 출력단에 나타나는 전압은 약 1.9[kV]로 시뮬레이션을 했을 때와 약 400[V]의 오차가 생겼다. 오차의 원인으로는 점화기와 케이블간의 임피던스 매칭이 이루어 지지 않아 이론적으로 접근 했을 때와 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전자식 안정기에서 사용되고 있는 점화기의 비교 및 안정기와 램프간 거리에 따른 특성을 분석하였다. 각종 점화기의 비교를 통해 안정

## HID 램프용 점화기와 램프간 거리에 따른 점등 특성 분석

기 설계에 있어서 적합한 점화기 선택에 대한 지침을 마련하였다. 또한 현장에서 문제시 되는 안정기와 램프간 거리에 따른 점등전압의 감쇠현상을 이론적으로 접근하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 문제점을 규명하였다. 그러나 점화기의 임피던스를 무시하였으므로 점화기와 케이블이 연결되었을 때의 특성 분석이 정확하게 이루어 지지 않아 약간의 오차가 생겼다. 향후 보다 정확한 분석을 위해 점화기의 임피던스를 고려한 케이블 특성분석에 대한 연구가 진행된다면 보다 효과적인 분석이 가능하게 될 것으로 사료된다.

### References

- [1] 조계현, 송명석, 박종연 "HID 램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법", 조명·전기설비학회 논문지, 제18권, 제3호, pp.7-14, 2004년 5월.
- [2] 이봉진, 김기남, 박종연 "MHID 램프용 전자식 안정기의 보호 회로 설계", 조명·전기설비학회 논문지, 제22권, 제6호, pp.1-6, 2008년 6월.
- [3] 한수빈, 박석인, 정봉만, 정학근, 송유진, 김규덕 "HID용 이그나이터의 설계를 위한 시뮬레이션 연구", 한국조명·전기설비학회 2007춘계학술대회 논문집, pp.51-53.
- [4] 박종연, 정광현, "케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성 분석", 조명·전기설비학회 논문지, 제20권, 제6호, pp.9-17, 2006년 7월.

- [5] 이봉진, 김기남, 박종연, "음향 공명 제거 및 조광제어가 가능한 1kW 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기 설계", 대한전기학회 논문지, 제 57권 10호, pp.1782-1789, 2008년 10월.
- [6] Doron Shmilovitz, Sigmond Singer, "High-Frequency-Operated converters Based on Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 11, No.1, pp.142-146, Jan. 1996.
- [7] Doron Shmilovitz, Sigmond Singer, "Pulsed Power Generation by Means of Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No.1, pp.221-230, Jan. 2003.
- [8] KS 규격 MOD, KS C IEC 60502-1, 2002.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 박종연 (朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업(석사). 1984년 경북대 대학원 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대 전기전자 정보통신공학부 교수.

#### 김기남 (金基南)

1983년 7월 4일생. 2009년 강원대학교 전기전자 공학과 졸업. 2009년~현재 동대학원 전기전자공학과(석사과정).