

케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성분석

(Characteristics Analysis of the Ballast for HID Lamps According to Cable Length)

박종연 · 정광현*

(Chong-Yeun Park · Kwang-Hyun Jung)

요 약

본 논문은 선로의 성질에 의한 HID 램프용 안정기의 특성에 대하여 측정 및 분석하였다. 이그니션 전압과 정상 상태의 전압과 전류는 선로의 길이 및 특성에 따라 다르다. 따라서 본 논문에서는 저주파 구동방식 전자식 안정기, 고주파 구동방식 전자식 안정기, 자기식 안정기를 케이블 25[m], 100[m] 거리에서 측정 및 분석 하였다. 여러 종류의 안정기 및 케이블에 대하여 측정 및 분석한 결과에 의해 측정된 안정기들 중 저주파수로 구동되는 전자식 안정기가 가장 적합하고 선간의 캐패시턴스 성분이 중요하다는 결론을 얻었다.

Abstract

In this paper, we analyzed and measured the characteristics of the ballasts for HID lamps according to the cable properties. The ignition voltage and the steady state voltage and current are depend on the feature and the length of the cables. So we measured characteristics at 25[m] and 100[m] distances used by a low frequency electronic ballast, a high frequency electronic ballast and a magnetic ballast. By measured and analyzed result of characteristics for various kinds of ballast and cables, we concluded that the electronic ballast driving with the low frequency is better than any other ballasts, and that the capacitance between the cables is important.

Key Words : Electronic ballast, HID lamp, Cable feature

1. 서 론

본 논문에서는 HID(High Intensity Discharge) 램프용 안정기와 램프간의 전선 종류 및 거리에 따른 안정기의 동작 특성을 분석하였다.

HID 램프는 좋은 연색성 때문에 조명분야에서 관심의 대상이 되고 있다[1-2]. HID 램프의 용도에 따라 설치 시에 램프와 안정기간의 일정한 거리를 가지게 되며, 그 거리를 연결하는 전선의 길이 및 종류에 따라 램프에 공급되는 이그니션 전압, 정상상태의 전력이 다르므로, 안정기의 동작특성을 이그니션 및 정상상태로 나누어 분석하였다.

안정기는 크게 저주파수에서 동작하는 자기식 안정기, 고주파수에서(수십 [KHz]) 동작하는 전자식

* 주저자 : 강원대학교 전기전자전공 석사과정
Tel : 033-250-6292, Fax : 033-241-3775
E-mail : randy105@hanmail.net
접수일자 : 2006년 3월 21일
1차심사 : 2006년 3월 28일, 2차심사 : 2006년 5월 22일
심사완료 : 2006년 5월 25일

케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성분석

안정기, 저주파수(수백 [Hz])에서 동작하는 전자식 안정기 세 가지 종류로 구분되어질 수 있다. 안정기의 구동 방식에 따라 전선의 길이 및 종류가 미치는 영향 또한 다르므로, 본 논문에서는 세 가지 종류의 안정기를 HID 램프와 25[m], 100[m] 거리에 두 종류의 전선으로 연결하여 이그니션 및 정상상태 때의 안정기의 특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 케이블의 모델링

케이블은 다음의 그림 1과 같은 등가회로로써 표현할 수 있다[3-4].

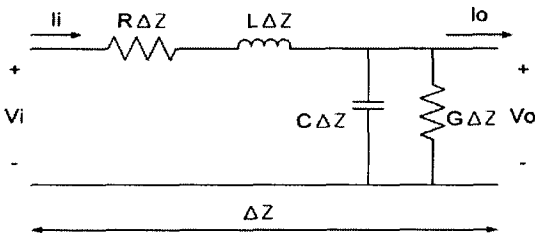


그림 1. 케이블의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of Cable

따라서 실제 가로등 전선의 R, L, G, C 값으로 특성을 알 수 있다. 가로등의 램프와 안정기간의 전선은 일반적으로 KS 규격[5]의 가교 폴리에틸렌 케이블(VCTF)을 주로 사용하고, 측정된 VCTF 전선에 대한 데이터는 표 1과 같다.

표 1. VCTF 케이블의 특성
Table 1. Features of VCTF cable

공칭단면적	2[mm ²]
저항	9.79[Ω/km]
커패시턴스	1.545[μF/km]
인덕턴스	0.316[mH/km]

표 1의 데이터로 25[m], 100[m] 에 대하여 그림 1과 같이 등가할 수 있고, 주파수특성을 확인하기 위한 시뮬레이션 회로와 그 결과는 다음의 그림 3~6

과 같다. 시뮬레이션시 안정기 출력 값은 $R_s=20[\Omega]$ 으로 가정하고, 25[m] 케이블의 경우 $R=0.2447[\Omega]$, $L=7.9[\mu\text{H}]$, $C=38.6[\text{nF}]$, $G=0.01[\text{nS}]$ 로하여 시뮬레이션 하였다.

25[m] 케이블의 시뮬레이션 결과 주파수 특성 그래프는 그림 2와 같으며, 3[dB] 감쇠 주파수는 288[KHz]로 나타났다. 또한 100[m] VCTF 케이블의 경우 $R=0.97$, $L=31.6[\mu\text{H}]$, $C=154.5[\text{nF}]$, $G=0.04[\text{nS}]$ 로 하여 시뮬레이션 하였다.

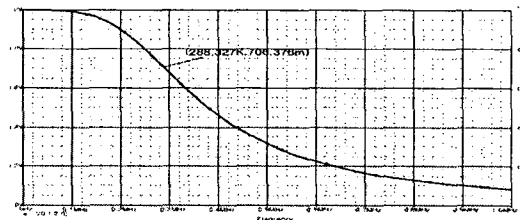


그림 2. 25(m) VCTF 케이블의 시뮬레이션 결과
Fig. 2. The result of simulation of 25(m) VCTF cable

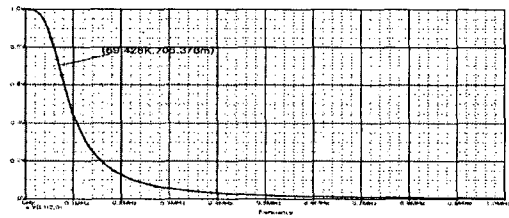


그림 3. 100(m) VCTF 케이블의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The result of simulation of VCTF cable

100[m] 전송선로의 시뮬레이션 결과 주파수 특성 그래프는 그림 3과 같으며 3[dB] 감쇠 주파수는 69[KHz]로 나타났다. 따라서 고주파수로 동작하는 안정기의 경우 정상동작 하기 어렵다고 판단된다.

다른 전송선로의 종류로써 KS 규격[6]의 KSC 3302 600[V] 비닐 절연 전선(IV)을 사용하였다. VCTF 케이블과는 다르게 두 개의 선이 외피로 묶여 있지 않다. 따라서 정확한 커패시턴스 및 인덕턴스의 값을 산출해 내는 것은 어렵다. 그러나 대략적으로 붙어있다고 가정 후 인덕턴스와 커패시턴스를 다음과 같은 식에 의하여 구하였다[7-8].

$$L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{d} \quad [mH/km] \quad (1)$$

$$C = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{D}{d}} \quad [\mu F/km] \quad (2)$$

ϵ : 절연체 D : 도체간 거리 d : 도체의 반지름

식 1, 2에 의해 구한 값과 전송선의 데이터시트 및 KS 규격을 정리하면 표 2와 같다.

표 2. IV 전선의 특성
Table 2. Features of IV cable

지름	1.6[mm]
총 지름	3.8[mm]
외피	PVC
저항	8.92[Ω/km]
커패시턴스	0.561[μF/km]
인덕턴스	0.327[mH/km]

표 2의 수치로써 25[m], 100[m] 케이블에 대한 주파수특성 시뮬레이션 결과는 각각 그림 4와 5이다.

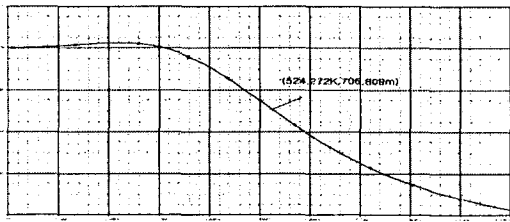


그림 4. 25(m) IV 케이블의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. The result of simulation of 25(m) IV cable

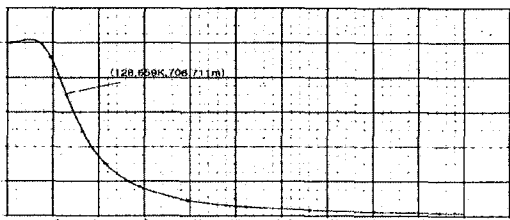


그림 5. 100(m) IV 케이블의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. The result of simulation of 100(m) IV cable

25[m] IV 케이블의 시뮬레이션 결과 3[dB] 감쇠주파수는 524[KHz]로 나타났다. 이것은 VCTF 케이블 보다 선간 커패시턴스가 더 작게 계산되었기 때문이다. 100[m] IV 케이블의 시뮬레이션 결과 3[dB] 감쇠주파수는 128[KHz]로 나타났다.

따라서 선간 커패시턴스가 더 낮은 케이블의 경우 이그니션 전압의 감소가 더 적고 고주파수로 구동시키는 안정기의 경우 정상상태시의 출력 감소가 더 적은 것으로 확인되었다.

2.2 시험용 안정기의 구조

시험용 안정기는 앞에서 언급했듯이 저주파수에서 동작하는 전자식 안정기, 고주파수에서 동작하는 전자식 안정기와 저주파수에서 동작하는 자기식 안정기 세 종류이며 동작 및 구조는 다음과 같다.

2.2.1 안정기 A

저주파수에서 동작하는 안정기 A의 구조는 다음의 그림 6과 같이 PFC, Buck 컨버터, 풀 브리지 인버터의 3단 구조로 되어있다[1-9].

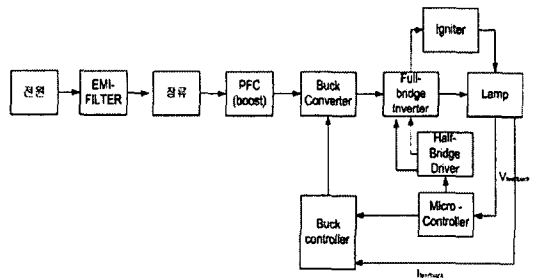


그림 6. 안정기 A의 구조
Fig. 6. The structure of electronic ballast A

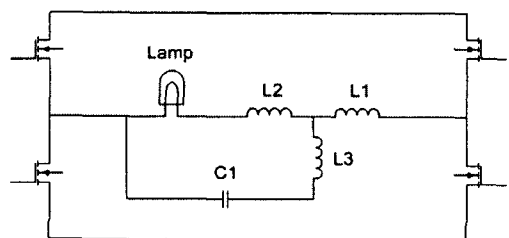


그림 7. 안정기 A의 점화기 구조
Fig. 7. The structure of ignitor of ballast A

케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성분석

출력 전압과 전류를 센싱하여 Buck Converter의 컨트롤러로써 듀티를 제어하여 전력을 조절하도록 되어있으며, 풀 브리지 인버터의 스위치는 마이크로 컨트롤러로 하프 브리지 구동 IC를 통하여 제어하고 있다. 점화기는 그림 7과 같고 램프가 점등되기 전 램프가 무한대로 증가 될 시에만 구형파에 1.7[kV]의 이그니션 전압이 형성되도록 구성되어 있다. 측정된 안정기의 구동 주파수는 120[Hz], 출력전압은 140[V](rms), 출력전류는 1.8[A](rms)이고, 250 [W] 메탈헬라이드 램프용이다.

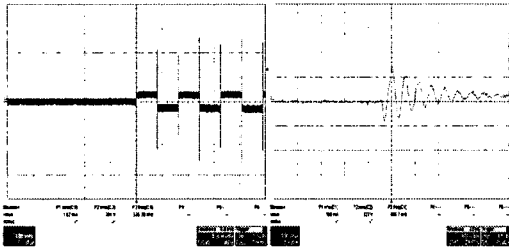


그림 8. a. 무부하시 전압파형(1[kV/div], 5[msec/div])
b. 이그니션 파형(1[kV/div], 5[μsec/div])
Fig. 8. a. A Waveform of no load
b. A Waveform of ignition

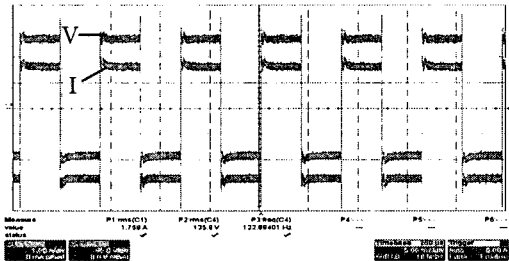


그림 9. 안정기 A의 정상상태시 전압 전류파형
Fig. 9. Voltage and current waveforms at steady state of ballast A

2.2.2 안정기 B

고주파수에서 동작하는 안정기 B의 구조는 다음의 그림 10과 같은 PFC, 하프 브리지 LCC 공진의 2 단 구조이다[10-13].

하프 브리지의 스위칭을 구동 IC 를 통해 제어 하고 있으며, 출력의 전압과 전류를 센싱 받아 구동 IC 의 스위칭 주파수 변경하여 구동 주파수를 변경시킴

으로써, LCC 공진에 의해 출력 전력을 제어하고 있다. 이그니션은 램프 오프 시 공진커패에 의해 약 120[KHz]의 이그니션 전압을 형성하게 되며 별도의 카운터를 이용하여 이그니션을 지속할 것인지의 여부를 판별한다. 측정된 안정기의 정상상태시 구동주파수는 60[KHz]이며, 출력전압은 140[V](rms), 출력전류는 1.8[A](rms)이고, 메탈헬라이드 램프용이다.

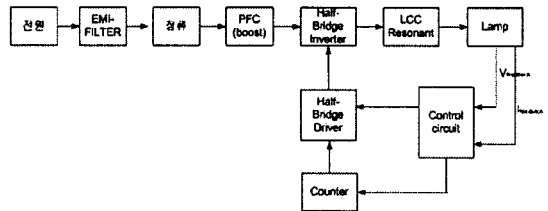


그림 10. 안정기 B의 구조
Fig. 10. The structure of ballast B

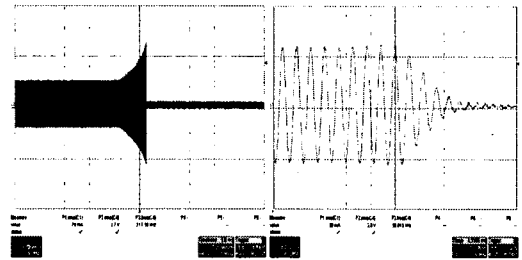


그림 11. a. 무부하시 전압파형(1[kV/div], 5[msec/div])
b. 이그니션 파형(1[kV/div], 10[μsec/div])
Fig. 11. a. A Waveform of no load
b. A Waveform of ignition

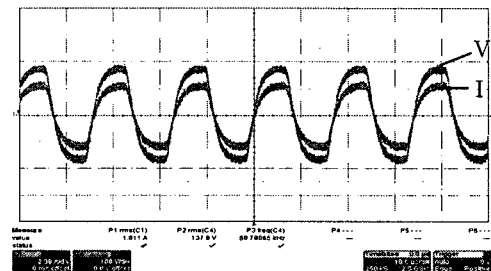


그림 12. 안정기 B의 정상상태시 전압 전류파형
Fig. 12. Voltage and current waveforms at steady state of ballast B

2.2.3 안정기 C

저주파수에서 동작하는 자기식 안정기 C의 구조

는 다음의 그림 18과 같은 구조를 가지고 있다[14].

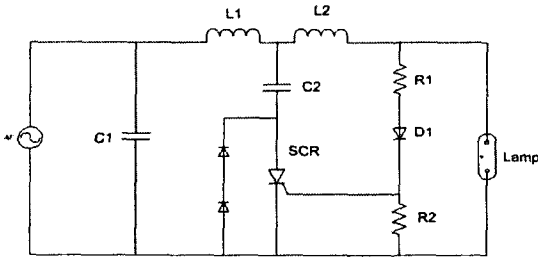


그림 13. 안정기 C의 구조
Fig. 13. The structure of ballast C

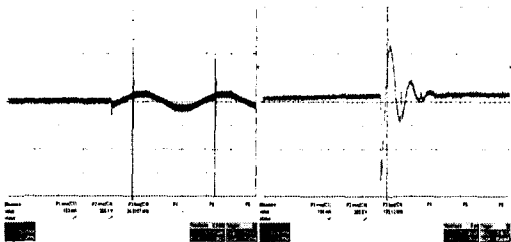


그림 14. a. 무부하시 전압파형(1[kV/div], 5[msec/div])
b. 이그니션 파형(1[kV/div], 200[usec/div])
Fig. 14. a. A Waveform of no load
b. A Waveform of ignition

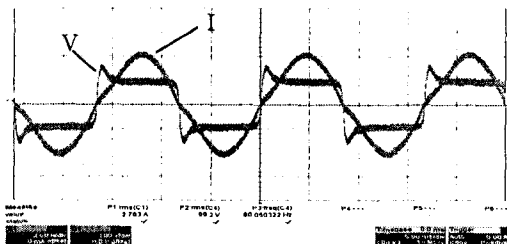


그림 15. 안정기 C의 정상상태시 전압 전류파형
Fig. 15. Voltage and current waveforms at steady state of ballast C

정상 상태 시에는 단순히 L1과 L2 그리고 역률개선 용 커패시터인 C1만이 관여를 하여 램프의 전력을 공급하고 있다. 이그니션 시 전류는 L1, L2, R1, D1, R2를 통하여 흐르게 되고 SCR 도통전압이 형성 이 되면 $V_L = L \cdot \Delta i / \Delta t$ 에 의하여 1[kV] 이상의 고전압이 형성된다. 측정된 안정기의 정상 상태시 구동주파수는 60[Hz]이며, 출력 전압은 약 100[V] (rms), 출력 전류는 약 2.7[A](rms)이고, 250[W] 고

압 나트륨램프용이다.

2.3 케이블 I

케이블 I은 가교 폴리에틸렌 케이블로써 고주파수로 분석되는 이그니션 전압의 경우 전선의 길이가 길어짐에 따라 감쇠가 심해지고, 고주파수로 동작되는 안정기의 경우 그림 2 및 3의 특성 그래프에 의해 정상적인 동작을 하지 못함을 알 수 있다.

측정 시 케이블은 지름 50[cm]의 원형으로 감겨져 있는 상태로 측정하였다.

2.3.1 안정기 A

저주파수 방식으로 구동되는 안정기 A의 경우 25[m], 100[m]에 대한 이그니션 전압 및 정상상태 전압전류 파형은 다음의 그림 16 및 17과 같다.

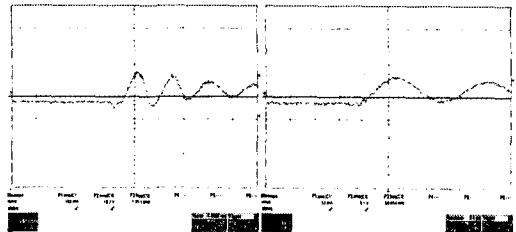


그림 16. a. 25(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 5[usec/div])
b. 100(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 5[usec/div])
Fig. 16. a. A ignition waveform at 25(m)
b. A ignition waveform at 100(m)

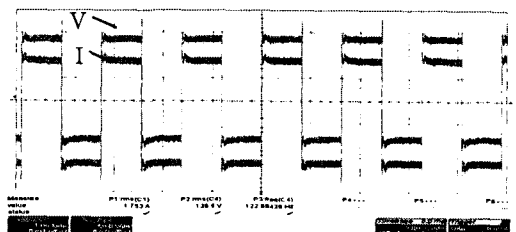


그림 17. 100(m)에서 정상상태시 전압 전류파형
Fig. 17. Voltage and current waveforms at steady state at 100(m)

파형에서 확인할 수 있듯이 이그니션 전압은

케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성분석

1[kV]~800[V] 정도로 감소하였음을 알 수 있다. 램프에 따라서 이그니션 전압이 다소 다르지만 점등에 문제가 발생하지 않았다. 정상상태의 경우는 전선의 거리에 따른 출력의 변화가 거의 없음을 확인 할 수 있다.

2.3.2 안정기 B

고주파수 방식으로 구동되는 안정기의 경우 25[m], 100[m] 에 대한 이그니션 전압 및 정상상태 전압 전류 파형은 다음의 그림 18 및 19와 같다. 이그니션 전압의 경우 원래의 2.4[kV] 정도에서 25[m]에서는 1.4[kV]로, 100[m]에서는 800[V]로 감소하였음을 알 수 있다. 또한 정상상태의 경우 25[m]의 경우 240[Watt]로 정출력에 근접하게 나오지만 100[m]의 경우 211[Watt]로 출력이 감소하였다. 정상상태

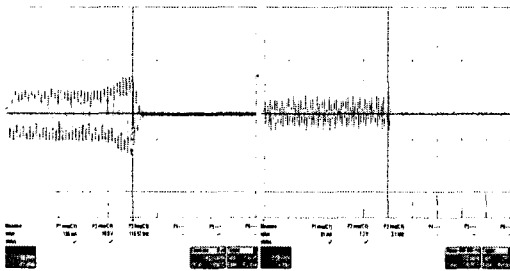


그림 18. a. 25(m) 이그니션 파형(1kV/div, 50μsec/div)
b. 100(m) 이그니션 파형(1kV/div, 100μsec/div)
Fig. 18. a. A ignition Waveform at 25(m)
b. A ignition Waveform at 100(m)

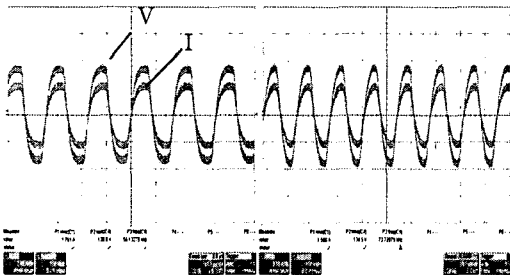


그림 19. a. 25(m) 정상상태 파형(10μsec/div)
b. 100(m) 정상상태 파형(10μsec/div)
Fig. 19. a. Waveforms of steady state at 25(m)
b. Waveforms of steady state at 100(m)

에서의 감소가 이그니션 전압의 경우처럼 감소하지 않는 이유는 안정기내부의 피드백 루프에 의하여 정출력을 유지하려하기 때문이다. 100[m]의 경우에는 이러한 피드백 루프 때문에 출력 주파수가 60[KHz]에서 100[KHz]까지 수시로 변화하게 되고, 결국 램프의 플리커 현상을 유발하여 불안함을 알 수 있다.

2.3.3 안정기 C

전원의 주파수와 같게 구동되는 자기식 안정기의 경우 25[m], 100[m]에 대한 이그니션 전압 및 정상상태 전압 전류 파형은 다음의 그림 20 및 21과 같다.

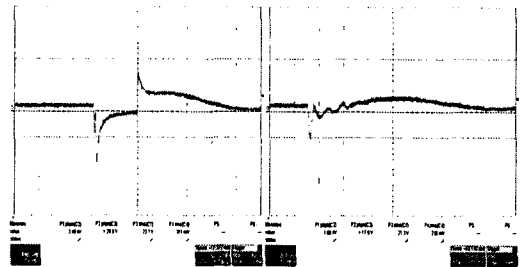


그림 20. a. 25(m) 이그니션 파형(1kV/div, 50μsec/div)
b. 100(m) 이그니션 파형(1kV/div, 50μsec/div)
Fig. 20. a. A ignition waveform at 25(m)
b. A ignition waveform at 100(m)

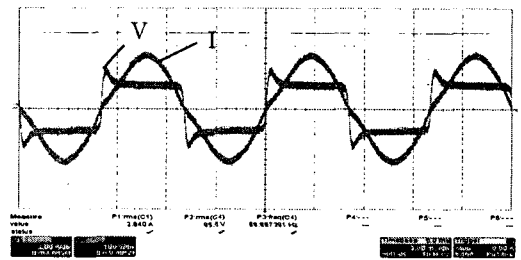


그림 21. 25(m) 정상상태 파형(5msec/div)
Fig. 21. Voltage and current waveforms at steady state at 25(m)

이그니션 전압의 경우 2.2[kV]에서 1[kV] 정도로 감소된 것을 확인할 수 있다. 정상상태의 경우 25[m] 거리에서는 점등이 가능하고, 출력 또한 정상적으로 나오는 것을 확인하였다. 그러나 100[m]의 경우 이그니션 전압이 500[V] 정도밖에 형성되지 않으므

로 점등이 되지 않았다. 만약 이그니션 전압이 형성되어 점등이 된다면, 정상상태의 경우에는 문제가 없을 것으로 예측된다.

2.4 케이블 II

케이블 II는 KSC 3302 1.6[mm]로 단선이며, 두 개의 전선이 외피로 묶여 있지 않다. 따라서 선간의 커패시턴스 성분은 케이블 I보다 작은 전선이다. 측정 시 조건은 케이블 I과 동일하다.

2.4.1 안정기 A

저주파수 방식으로 구동되는 안정기 A의 경우 25[m], 100[m]에 대한 이그니션 전압 및 정상상태 전압전류 파형은 다음의 그림 22 및 23과 같다.

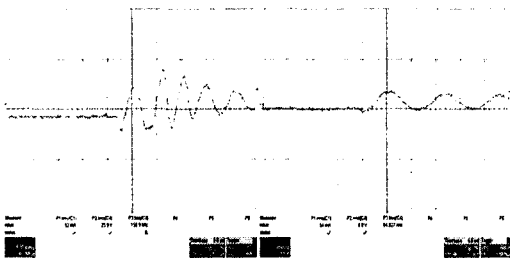


그림 22. a. 25(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 50[µsec/div])
b. 100(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 5[µsec/div])
Fig. 22. a. A ignition waveform at 25(m)
b. A ignition waveform at 100(m)

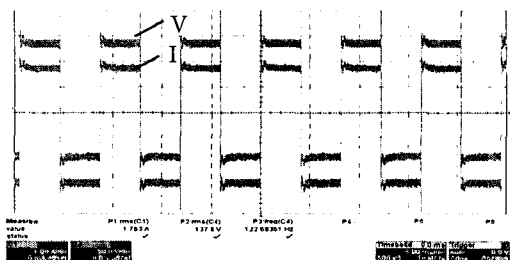


그림 23. 100(m) 정상상태 파형(5[msec/div])
Fig. 23. Voltage and current waveform at steady state at 100(m)

이그니션 전압의 경우 100[m]에서 800[V]까지 감

쇠하는 것을 볼 수 있으며, 정상상태의 경우 25[m], 100[m] 모두 정상적인 출력을 내고 있는것을 확인하였다. 안정기 A의 경우는 케이블 I 과 결과가 비슷하게 나타났다.

2.4.2 안정기 B

고주파수 방식으로 구동되는 안정기의 경우 25[m], 100[m]에 대한 이그니션 전압 및 정상상태 전압 전류 파형은 다음의 그림 24 및 25와 같다.

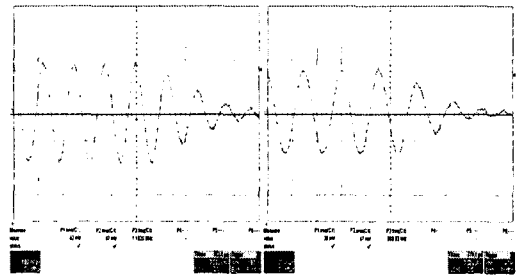


그림 24. a. 25(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 5[µsec/div])
b. 100(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 5[µsec/div])
Fig. 24. a. A ignition waveform at 25(m)
b. A ignition waveform at 100(m)

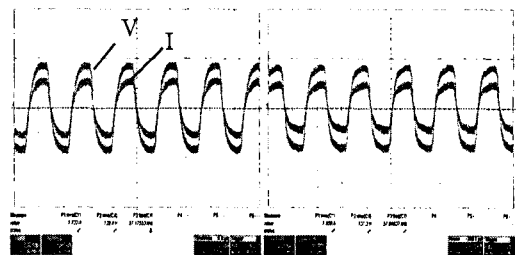


그림 25. a. 25(m) 정상상태 파형 (10[µsec/div])
b. 100(m) 정상상태 파형 (10[µsec/div])
Fig. 25. a. A Waveform of steady state at 25(m)
b. A Waveform of steady state at 100(m)

이그니션 전압을 보면 25[m]일 때 2[kV], 100[m]일 때 1.8[kV]인 것을 알 수 있다. 케이블 I에서 나타났던 감쇠폭보다 훨씬 적음을 알 수 있다. 정상상태시에는 전류가 25[m]일 때 1.7[A](rms), 100[m]일 때 1.4A(rms) 정도로 감소되어 100[m]의 경우 195[W]의 출력이 나오고 있어 케이블 I에서 보다

케이블 길이에 따른 HID 램프용 안정기의 특성분석

출력은 감소되었지만, 피드백 루프에 의한 심한 주파수 변동은 없었다.

2.4.3 안정기 C

전원의 주파수와 동일하게 구동되는 자기식 안정기의 경우 25[m], 100[m]에 대한 이그니션 전압 및 정상상태 전압 전류 파형은 다음의 그림 26 및 27과 같다.

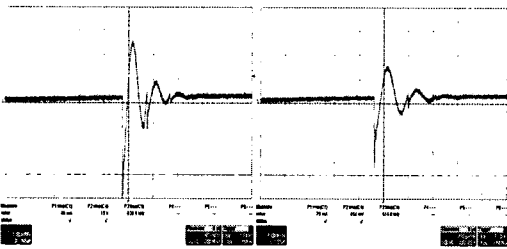


그림 26. a. 25(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 200[µsec/div])
b. 100(m) 이그니션 파형(1[kV/div], 200[µsec/div])

Fig. 26. a. A ignition waveform at 25(m)
b. A ignition waveform at 100(m)

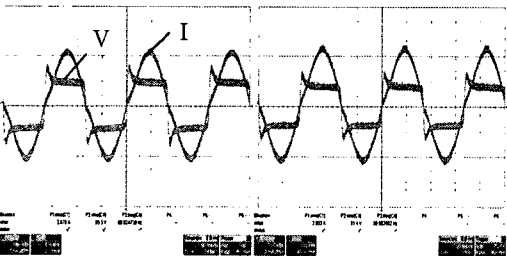


그림 27. a. 25(m) 정상상태 파형(5[msec/div])
b. 100(m) 정상상태 파형(5[msec/div])

Fig. 27. a. A Waveform of steady state at 25(m)
b. A Waveform of steady state at 100(m)

이그니션 전압은 25[m]에서 2.5[kV] 100[m]에서는 1.5[kV]로 케이블 I에 비하여 감소율은 현저히 작은 것을 알 수 있다. 정상상태 시에는 출력 전압이 80[V](rms), 출력 전류가 3[A](rms)가 되어 전류는 상승하고 전압이 감소하였다. 이러한 현상은 전선의 임피던스 성분에 의해 안정기의 공진곡선이 변경되어 나타난 현상으로 판단된다.

2.6 실험결과 요약

위의 실험결과를 요약하여 정리하면 다음의 표 3과 같다.

표 3. 실험결과
Table 3. The measured result

		25[m]	100[m]
케이블 I	안정기A	점등:O 정상:문제없음	점등:O 정상:문제없음
	안정기B	점등:O 정상:약간의 출력감소	점등:O 정상:불안정
	안정기C	점등:O 정상:약간의 전압하강 전류증가	점등:X 정상:X
케이블 II	안정기A	점등:O 정상:문제없음	점등:O 정상:문제없음
	안정기B	점등:O 정상:약간의 출력감소	점등:O 정상:출력감소
	안정기C	점등:O 정상:약간의 전압하강 전류증가	점등:O 정상:출력감소 전압하강 전류증가

측정에 사용한 장비는 오실로스코프 Lecroy 6030, 고압 프루브 Tektronix P6015A를 사용하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 가로등용 램프와 안정기의 거리별 및 종류별, 안정기의 구동방식별 특성을 비교 분석하였다. 실험결과 전선의 주파수별 특성과 같이 고주파수에서 동작하는 안정기는 100[m] 길이의 전선에서 불안한 동작을 하였으며, 별도의 피드백 루프가 없는 자기식 안정기의 경우 전선의 거리가 길어질수록 안정기의 출력이 10[%] 정도 감소하였다.

이그니션 전압의 경우 거리가 길어질수록 감소는

심해지지만, 700~800[V]정도의 점등전압이 형성된다면, 점등이 되어 정상상태로 구동되는 것을 확인하였다. 전송선의 경우 선간 커패시턴스의 크기에 따라 이그니션 전압의 감소가 결정되는 것을 알 수 있었다.

따라서 램프와 안정기간의 거리가 멀어질수록 피드백 루프가 있는 저주파수 방식의 전자식 안정기로 구동시키는 것이 바람직하다. 또한 이그니션 전압 형성을 위해서는 선간의 커패시턴스의 영향을 줄이기 위해 두개의 전선이 같이 묶여 있지 않는 것이 바람직하다.

본 연구는 강원대학교 정보통신 연구소의 도움으로 수행할 수 있었음을 감사히 생각합니다.

References

[1] 박종연, 박영길, 정동열, 김한수, "250(W) MHL용 Buck Type 전자식 안정기 및 Dimming 시스템 개발", 전력전자학회 논문지 제7권, 1호, pp.30-40, 2002. 2.
 [2] 조계현, 박종연, 박재일, "Half Bridge 인버터에 의한 자동차 헤드라이트용 전자식 안정기 개발", 대한 전기학회지, 52B-3-7, pp140-146, 2003. 3.
 [3] Doron Shmilovitz, Sigmond Singer, "High-Frequency-Operated converters Based on Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 11, No.1, Jan. 1996.
 [4] Doron Shmilovitz, Sigmond Singer, "Pulsed Power Generation by Means of Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No.1, Jan. 2003.
 [5] KS 규격 MOD, KS C IEC 60502-1, 2002.
 [6] KS 규격 MOD, KS C IEC 60227-3, 2002.
 [7] 전기설비기술계산 핸드북, 기다리, 편집부, 1993.
 [8] 電氣工學 大辭典, 한국 사전연구사, 1993.

[9] Park Jong-Yeon, Jung Dong-Youl, "Electronic Ballast with Constant Power Output Contoller for 250(W) MHD Lamp", 2001 IEEE International Symposium on industrial Electronics Proceedings, Jun. 2001.
 [10] Hideki Ohguchi, Masato H. Oshato, Toshihisa Shimizu, Gunji Kimura, Hiroyuki Takagi, "A High-Frequency Electronic Ballast for HID Lamps Based on a $\lambda/4$ -Long Distributed Constant Line", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 19, No. 6, Nov. 1998.
 [11] Richard Redl, Jon D. Paul, "A New High-Frequency and high-Efficiency Electronic Ballast for HID Lamps", IEEE, pp.486-492, 1999.
 [12] J. Cardesin, M. Alonso, E. L. Corominas, A. Calleja, J. Ribas, M. Rico-Secades, J. Garcia, "Design Optimization of LCC Parallel-Series Inverter with Resonant Current Mode Control for 250W H.P.S Lamp Ballst", IEEE, pp.982-987, 2003.
 [13] Jesus Cardesin, Jose Marcos Alonso, Emilio Lopez-Corominas, Antonio J. Calleja, Javier Ribas, Manuel Rico-Secades, Jorge Garcia, "Small-Signal Analysis of a Low-Cost Power Control for LCC Series-Parallel Inverters With Resonant Current Mode Control for HID Lamp", IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 20, NO. 5, September 2005.
 [14] 박종연, 정동열, 조계현, "Lamp 용 안정기의 종류 및 특징", 전기설비학회지, pp.47-63, 1999.

◇ 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.

정광현 (鄭光賢)

1980년 2월 25일생. 2006년 강원대학교 전기전자 공학부 졸업. 2006년~현재 동대학원 전기공학과(석사과정).