

250W HID 램프용 전자식 안정기의 손실 특성 분석

(Analysis of Loss Characteristics of Electronic Ballast for 250W HID-lamp)

박종연* · 정광현** · 석경수*** · 박창열***

(Chong-Yeon Park · Kwang-hyun Jung · Kyung-su Suk · Chang-yeol Park)

Abstract

We have studied the loss characteristics of the electronic ballast for the 250 watt HID lamps. The researched electronic ballast has a low loss, a low THD for input current and the other reliable characteristics. By the experimental results and the analytical method, we concluded that the switching devices loss is 33%, and the Inductances loss is 42.6% of the total losses.

1. 서론

본 논문에서는 250W HID-lamp 용 안정기 중 boost, buck, full-bridge의 3단 구조를 가지고 있는 안정기를 실현하여 손실을 측정하였다.

HID lamp는 최근 좋은 연색성 때문에 조명분야에서 관심의 대상이 되고 있고[1], 에너지 절약에 관련하여 효율에 대한 관심도 높아지고 있다. 비록 전자식 안정기가 자기식 안정기에 비하여 효율이 높긴하지만 무시할 수 없는 양의 에너지가 손실되고 있으므로 [2], 손실을 측정 및 분석하였다.

손실측정 및 분석은 각 스위치들의 전압/전류 파형을 측정하여 on/off시, 동작중 소비되는 전력을 계산하였고, 각각의 L에서 소비되는 전력을 계산하였으며, 다른 중요한 소자들의 손실을 분석하였다.

2. 본론

본 논문에서 측정 및 분석한 안정기의 구조 및 회로는 신뢰성을 높이기 위해서 구조는 복잡하지만 안정된 동작을 하며 그림1과 같다. 손실은 주로 스위치 및 각 컨버터의 L, IC등에서 일어나므로 언급된 순서 및 각 부분별로 분석하도록 하겠다.

2.1. 스위치 손실

스위치의 손실은 두 가지로 구분지을 수 있는데, 스위치 on/off 시 전압 및 전류가 소자고유의 Delay time에 의하여 겹치는 부분이 생겨 발생하는 switching on/off 손실 그리고 소자의 도통시 나타나는 저항에 의한 도통손실 (conduction loss)이다.

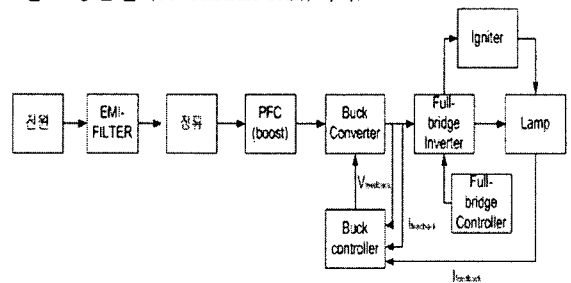


그림 1.a 측정된 안정기의 구조

Fig.1.a The structure of the mearesed electronic ballast

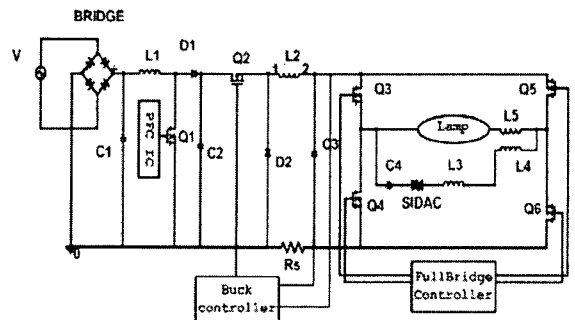


그림 1.b 측정된 안정기의 회로

Fig.1.b The circuit of the mearesed electronic ballast

* 강원대학교 교수

** 강원대학교 전기전자 전공 4학년

*** (주) 미디어 테크 놀로지

2.1.1. Full-bridge Inverter 스위치 손실

Full-bridge Inverter는 총 네 개의 스위치(mosfet : 16N50)로 구성되어있다. 그러나 측정된 안정기의 스위치 4개의 특성 및 전압 및 전류파형이 거의 같으므로 하나의 스위치를 계산하여 총 손실을 계산하였으며, 그 중 그림1.b 에서의 Q3의 전압 및 전류의 on/off 파형은 다음의 그림 2 와 같다. 그림2에서 스위치 on/off에 의한 손실은 무시할 수 있을 정도로 작으므로, 도통손실로써 총 손실을 계산할 수 있다. 구동주파수는 303Hz 이고, $R_{ds} = 0.32\Omega$ 이므로, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$1.8^2 \times 0.32 \times 1650u \times 303Hz = 0.518W$$

따라서 4개의 FET에서 일어나는 손실은 2.073W 이다.

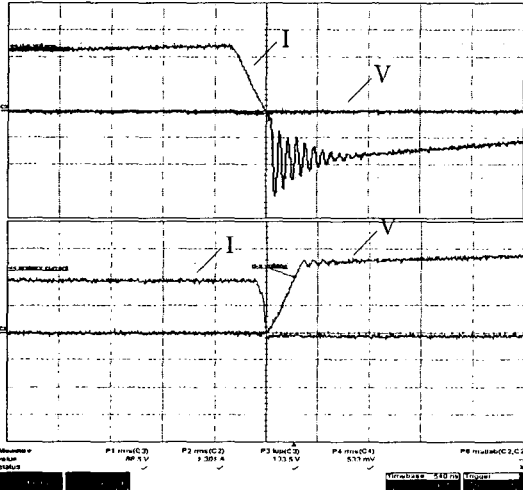


그림 2 Full-bridge Inverter MOSFET의 on/off 전압 전류 파형

Fig. 2. Voltage and current switching on/off wave forms of the Full-bridge Inverter MOSFET

2.1.2. PFC(boost converter) 스위치 손실

Boost converter는 MOSFET와 Diode 두 개의 스위치로 구성되어 있다.(그림1.b에서 D1, Q1) PFC의 동작 특성상 두 개의 스위치의 주파수 및 듀티는 계속 가변되어 진다. 또한 각각의 듀티 및 주파수마다 손실되는 양이 틀리므로, 정확한 손실의 측정은 상당히 어렵다. 따라서 대략적인 손실을 계산하도록 하겠다.

MOSFET의 듀티 및 주파수별 전압 전류 파형은 그림3과 같으며, 듀티 8%일때에는 56kHz, 50% 일때에는 70kHz, 75% 일때에는 35kHz의 주파수를 갖는다. 듀티가 8%일때에는 스위칭 손실이 거의 발생하지 않으므로 무시하도록 한다. 또한 그림 4의 파형을 보면 스위칭 off 손실이 발생함을 알 수있다. 따라서 듀티 50%, 75%일때의 스위칭 off 손실을 그림5와 같은 근사화를

통하여 계산하였다.

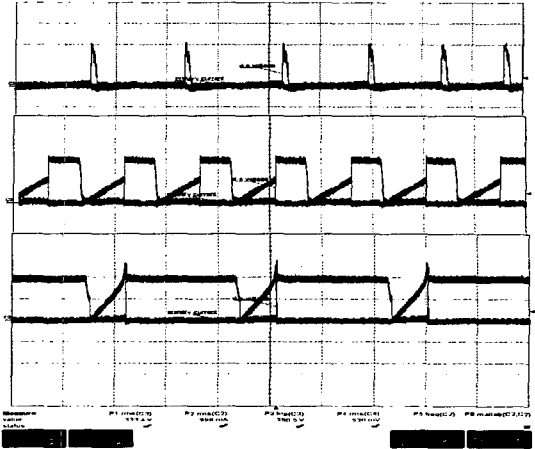


그림 3 duty 8%, 50% 75%일때 boost converter MOSFET 전압 전류 파형

Fig. 3. Voltage and current wave forms of the Boost converter MOSFET when duty is 8%, 50%, 75%

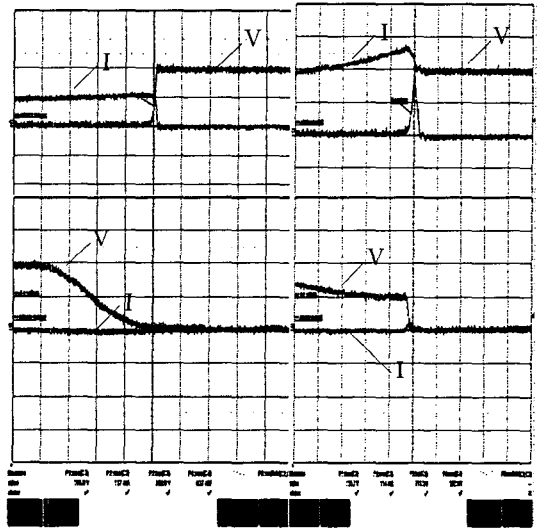


그림 4 50% 75%일때 boost converter MOSFET의 스위칭 on/off 전압 전류 파형

Fig.4. Voltage and current switching on/off wave forms of the Boost converter MOSFET when duty is 50%, 75%

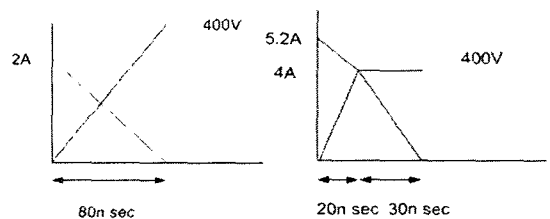


그림 5 그림4의 스위칭 off 시의 근사화모델
Fig.5. Approximation of fig4 (switch off)

(i) 듀티 50%일때 :

$$\int_0^{80n} \left(\frac{-2}{80n} t + 2 \right) \times \left(\frac{400}{80n} t \right) dt = 0.01067n = 10.67u J$$

(ii) 듀티 75%일때 :

$$\int_0^{20n} \left(\frac{400}{20n} t \right) \times \left(\frac{-1.2}{20n} t + 5.2 \right) dt = 17.6u Joule$$

$$\int_0^{30n} \left(\frac{-4}{30n} t + 4 \right) \times 400 dt = 24u Joule$$

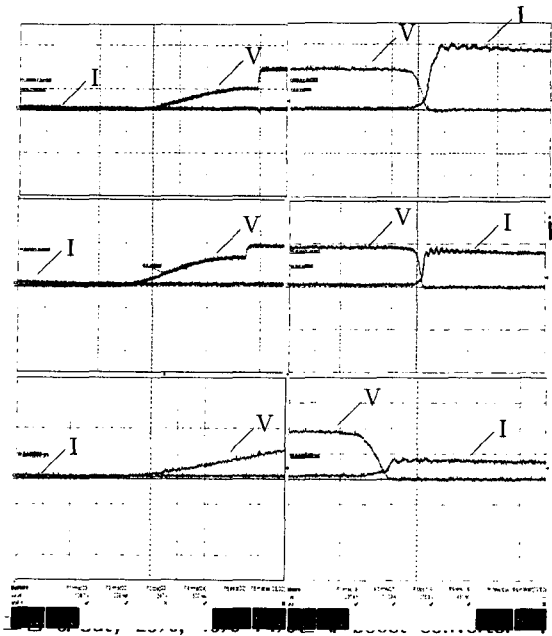
$$17.6u + 24u = 41.6u Joule$$

그리고 주파수를 30kHz - 75kHz로 변화한다고 가정하면, 평균 53kHz에서 26.135u Joule, 1.385W의 손실을 나타낼 수 있다. 또한, 도통손실은 듀티를 평균 50%로 가정하고 다음과 같이 계산할 수 있으며,

$$0.32 \times 1.33^2 \times 0.5 = 0.283 W$$

따라서 총 1.668W의 손실이 boost converter MOSFET에서 일어남을 알 수 있다.

그림6은 다이오드의 듀티 및 주파수별, 스위칭 on/off 전압전류 파형이다. 그림 6에서 보듯이 스위칭 on시 손실이 발생한다. 따라서 MOSFET와 같은 계산 과정을 거치면 표1과 같은 결과를 얻을 수 있다.



이오드의 스위칭 on/off 전압 전류 파형
Fig. 6. Voltage and current wave forms of the Boost converter Diode switching on/off when duty is 29%, 40%, 74%

표 1. Boost converter diode의 스위칭 on 손실 계산 결과

Table 1. Calculated switching on losses of boost converter diode

duty	freq	Loss(한주기) 단위 : Joule
29%	36.8k	12.9u
40%	50k	30.8u
74%	86.7k	4.56u

다이오드 또한 변하는 듀티와 주파수를 고려하여 평균으로 계산할 경우 50kHz, 17.68u Joule, 884mW로 근사치를 구할 수 있다. 또한 평균듀티를 50%로 가정하고 도통손실을 구하면 465mW 이므로, 다이오드의 총 손실은 1.349W이다.

2.1.3. Buck converter 스위치 손실

Buck converter는 MOSFET와 Diode두 개의 스위치로 구성되어 있다.(그림1.b에서 d2, Q2) 그러나 다이오드의 손실은 무시할 수 있을정도로 작으므로 MOSFET의 손실을 계산하도록 하겠다.

본 논문의 안정기는 Buck Converter의 스위칭 주파수가 50kHz이며 30%의 듀티로 동작한다.

그림 7에서 보듯이 스위칭 on시의 손실은 무시할 수 있을정도로 작은 반면 스위칭 off 손실은 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 8과 같은 근사화를 통하여 다음과 같이 계산 하였다.

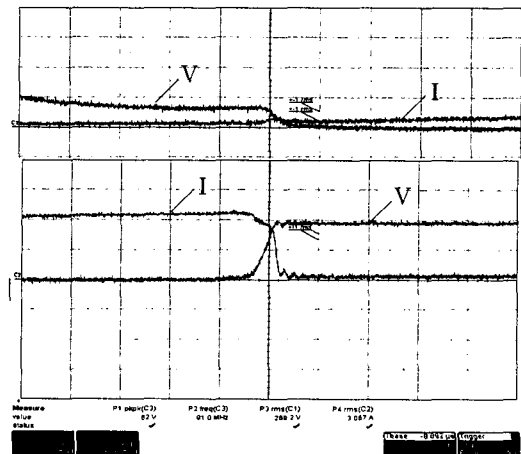


그림 7. Buck converter MOSFET의 스위칭 on/off 전압 전류 파형
Fig. 7. Voltage and current switching on/off wave forms of the Buck converter MOSFET

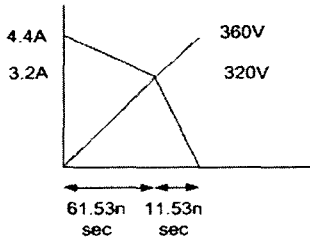


그림 8 그림7의 스위치 off 시의 근사화
Fig.8. Approximation of fig4 (switch off)

$$\int_0^{61.53n} \left(\frac{320}{61.53n} t \right) \times \left(\frac{-1.2}{61.53n} t + 4.4 \right) dt = 35.44 \mu\text{Joule}$$

$$\int_0^{11.53n} \left(\frac{40}{11.53n} t + 320 \right) \times \left(\frac{-3.2}{11.53} t + 3.2 \right) dt = 6.02 \mu\text{J}$$

$$35.44 \mu + 6.02 \mu = 41.46 \mu\text{Joule}$$

$$41.46 \mu \times 50\text{kHz} = 2.07 \text{W}$$

또한 $R_{ds} = 0.27\Omega$ 이므로 다음과 같이 도통 손실을 계산 할 수 있다.

$$0.683^2 \times 0.27 = 0.126 \text{W}$$

따라서 총 Buck converter 의 MOSFET 손실은 2.196W 이다.

2.2. L 의 손실

본 논문의 안정기에서 주요한 L은 Boost converter, Buck converter, 출력단 의 L 세가지(그림1.b의 L1, L2, L5)로 나눌수 있으므로 이 3개의 L의 손실을 계산하도록 하겠다.

L에서의 손실은 동손만을 고려 한다면, L의 저항값과 L에 흐르는 전류의 rms값으로써 손실을 계산할 수 있다. 따라서 언급된 3가지의 L을 계산한 결과는 표2 와 같다.

표 2. 각각의 L에서의 손실계산 결과
Table 2. Calculated losses of inductors

	저항 값 (Ω)	손실 (W)
Boost converter	1.18	1.99
Buck converter	1.08	6.17
출력단	1.14	3.9

2.3. IC 전력소모

본 논문의 안정기에서는 IC에 별도의 전원 공급장치를 통하여 전력을 공급하고 있으며, 별도의 전원공급장치로 전원을 받는 IC는 Buck controller 및 피드백 루프의 OP Amp 그리고 별도의 전원공급장치 내의 Viper

이다. 따라서 이 별도의 전원 공급장치의 입력 전력 모두가 손실 이므로, Power Analyzer로 입력 전력을 측정 하였으며 그 결과는 0.86W이다.

2.4. 피드백 저항 손실

본 논문의 안정기에서는 전력을 제어하기 위하여 전류를 센싱받기 위한 저항이 있고, 이것 또한 무시할 수 없는 손실이 발생하고 있다. 따라서 R_s 의 전류를 측정 하면, 그림 9와 같고, 전류의 rms값은 2.395A, $R_s = 0.22\Omega$ 이다.

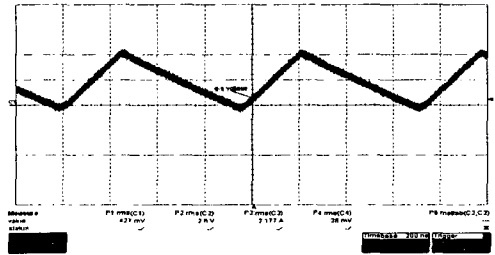


그림 9. R_s 에 흐르는 전류파형
Fig.9. The current waveform of R_s

따라서 R_s 의 소비전력은 $2.395^2 \times 0.22 = 1.215 \text{W}$ 이다. 위의 모든 결과를 각 부분 별로 정리 하면 표3과 같다.

표 3. 각 부분별 손실 분석 결과
Table 3. Calculated losses of each part

Part	소자	손실	계
Boost	FET	1.668W	
	다이오드	1.349W	
	L	1.99W	5.739W
Buck	FET	2.196W	
	L	6.17W	8.366W
Full-Br	FET	2.196W	
	L(출력)	3.9W	5.973W
기타	R_s	1.215W	
	별도전원	0.86W	2.075W
총 계		21.439W	

또한 Power Analyzer로 측정된 입력전력과 오실로스코프로 측정된 출력전력은 표4 와 같다.

표 4. 측정된 입력과 출력 전력

Table 4. The measured value of input and output power

	입력	출력
전압	203V	131.5V
전류	1.33A	1.85A
전력	265W	243.27W

따라서 역율이 1이라고 가정하였을때 총 손실은 21.73W 이다.

3. 결 론

이상의 이론과 실험 결과에 의하여 다음과 같은 두종류의 결론을 얻었다.

첫째, Power Analyzer 로 측정된 손실과 계산된 데이터를 비교하여 손실을 분석하여 보면, 스위치의 손실이 전체손실의 약 33%, L의 손실이 약 41.6%, 나머지가 약 23.5%를 차지하는 것을 알 수 있다. 따라서, 전체의 손실을 줄이기 위해서는 스위치의 손실과 L의 손실을 줄이는것이 가장 중요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 스위칭 손실을 줄이기 위한 연구와 스위치 on저항 및 L의 저항값 등 소자에 대한 개발이 가장 중요하다

둘째, 각 부분별로 PFC 단에서 약 26.4%, Buck 단에서 약 38.5%, 출력단에서 약 27.5%, 기타 약 9.5%로 Buck converter에서 가장 소비가 많은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] Nobuhiko Yamashita, Naoki Murakami and Toshiaki yachi "Conduction Power Loss in MOSFET Synchronous Rectifier with Parallel-Connected Schottky Barrier Diode" in IEEE Transaction On Power Electronics Vol. 13, No 4, pp 667-671, July 1998
- [2] 박종연, 정동열, 이혁순 "HD-lamp용 Full-Bridge 전자식 안정기의 손실특성 규명", 대한전기학회 Jul, 2001
- [3] 박종연, 정동열 "250W MHD 램프용 정출력 전자식 안정기의 개발", 전자공학회 학술대회 pp.99-102 Jun, 2001