

자동차 조명장치용 고압 방전등 시스템의 특성해석에 관한 연구

이두호¹, 김병우^{1*}
¹울산대학교 전기공학부

A Study on the Characteristics Analysis of Automotive Ballast System

Do-Ho Lee¹ and Byeong-Woo Kim^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Ulsan University

요 약 자동차 방전 램프의 전압과 전류에 대한 수학적 해석은 고전압 안정기 해석 및 설계에 유용하게 활용된다. 본 논문에서는 자동차 방전 램프에서 발생하는 램프 전력과 음극 전압 강하 현상에 대한 수학적 모델을 제안하였다. 제안된 모델에 적용된 수치해석 알고리즘을 구현하였고 여기에서 발생된 해석결과는 실험과 비교 검토하였다. 또한, 본 논문에서는 설계 기반의 해석방법을 적용하여 자동차용 고전압 안정기 핵심 부품에 대한 설계 인자를 도출하였다.

Abstract The mathematical simulation of voltage and current waveform of the discharge lamp is useful for the analysis and design of ballasting circuits. This paper proposes a mathematical model which has lamp power and negative voltage drop in discharge lamp. Simulation applying the proposed model has been done, and the results are compared with the experimental results. Furthermore, in the paper, the ballast components(core, transformer) was designed such that high intensity discharge could be optimized for the automotive, by applying a method simulation based design.

Key Words : High Intensity Discharger, Micro Power Xenon Lamp, Discharge Lamp

1. 서 론

최근 자동차에 적용되고 있는 제논 HID(High intensity discharge) 램프는 기존의 할로겐 램프에 비하여 2배 이상의 우수한 지향성 및 밝기 특성을 보유하고 있다. 국내외 자동차 부품업체에서는 국제적인 경쟁력 확보를 위하여 기존 HID 램프 기술과 차별화된 첨단 기술 개발에 매진하고 있다. 이 같은 기술의 하나로 최근 각광받고 있는 것이 전극간의 간격을 4.2mm로 최소화 시켜 제작하는 극소 가스방전 기술(Micro power xenon lamp)이다[1].

극소 가스방전 기술을 구현하기 위해서는 전자 안정기의 특성을 예측할 수 있는 전자회로와 음극에서 발생하는 전압강하를 정량적으로 예측할 수 있는 수학적 모델이 필요하다. 기존 연구에서는 극소 가스방전 기술이 적

용되지 않았기 때문에 일반 범용의 자동차 제논 램프에 대한 요소 설계 및 성능평가를 실시하였다[2]. 또한, 자동차 제논 램프에 대한 수학적 모델링을 실시하기도 하였으나 해석 모델이 복잡하고 정확성이 떨어지는 한계성을 갖고 있었다[3-4].

자동차 전자 안정기는 주로 부하동조 회로가 있는 인버터 단으로 구성되어 있다. 인버터의 전자회로 모델은 전자 안정기를 디자인하는데 유용하나 불행하게도 형광 램프의 전기적인 특성이 매우 복잡하여 제논 램프의 수학적 모델은 매우 어렵다. 전압과 전류의 정확한 계산을 위하여 일부 동적인 모델이 발표되기도 하였다. 그러나 이런 모델들은 매우 난해하여 전자회로의 파라미터를 결정하는데 적합하지 않다. 일부에서는 램프 제조업체가 제공하는 전압과 전류의 비에 의해서 얻을 수 있는 고정저

본 논문은 울산대학교 일류화사업 일환으로 수행되었음.

*교신저자 : 김병우(bywokim@ulsan.ac.kr)

접수일 11년 08월 03일

수정일 (1차 11년 08월 25일, 2차 11년 09월 01일)

게재확정일 11년 09월 08일

항으로 간주하여 모델링하기도 하였다[5].

저압 방전에 비해 고압방전에서 음극 강하의 영향이 대단히 커서 고압 방전등의 특성을 예측하는데 어려움이 있으므로, 음극 강하에 대한 연구가 필요하다. 기존 연구에서는 대부분 저압 방전에 대한 음극 강하 현상을 해석하였기 때문에 고압 방전에서 발생하는 다양한 해석 인자를 고려하지 못하였다[6]. 상기와 같은 이론적인 수학적 해석과 함께 극소 가스방전 기술 구현에 필요한 하드웨어적인 측면을 고려하여 변압기 핵심 부품인 코어와 변압기에 대한 설계 인자 조건 설정에 대한 방법을 제시하고자 한다.

따라서, 본 연구에서는 제논 램프에 적용되는 전자 안정기의 수학적 모델링과 음극에서 발생하는 음극 강하 현상을 해석하고 변압기 핵심 부품인 코어와 변압기의 설계 인자를 설정하여 극소 가스방전 기술 구현 가능성을 제시하고자 한다.

2. 제논 램프 특성 해석

자동차 제논 램프에서 전극간의 간격을 최소화시키는 극소 가스방전 기술을 구현하기 위해서는 램프 자체에 대한 등가모델 해석, 음극 전압 강하 해석이 필수적으로 필요하다. 이를 위하여 제논 램프 자체의 발광특성에 대한 전기적인 핵심 요소를 설계변수로 설정하여 해석을 실시하였다. 또한, 자동차 램프 하드웨어 측면에서 변압기의 물리적인 사양변화에 따른 설계 영향을 분석하였다.

2.1 제논 램프의 등가모델 해석

최근 고주파 전자 안정기가 조명 품질 향상을 위하여 고주파 형광 램프에서 폭 넓게 사용되고 있다. 전자기적인 측면의 이득뿐만 아니라 부가적인 제어회로를 통하여 감광하는 기능까지 제공할 수 있다. Fig. 1에서 알 수 있듯이, 자동차 방전 램프는 초기 상태에서 아크 갭이 스파크를 발생시킬 수 있도록 전압을 한계전압까지 올려주기 위하여 전압을 급상승시킨다. 다음 단계에서는 일정 전류 경로가 형성되면서 이 시점에 램프 내부온도가 상승하고 전도가 더욱 활발히 진행되어 램프가 정상상태로 진입된다.

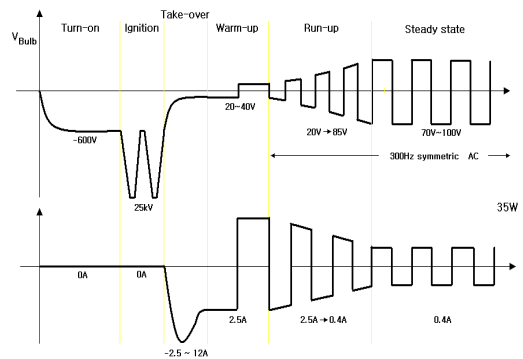
본 연구에서는 전압 방정식과 전류 방정식을 이용하여 간단하면서도 정확성을 갖는 램프 모델링을 시도하였다. 본 모델링의 목적은 전자회로의 파라미터 값을 결정할 수 있고 감광 모드에서 전자 안정기의 특성을 해석할 수 있게 하는 것이다. 고주파 인버터의 램프 모델을 위하여 여러 형태로 고안하였다. 출력 주파수와 인버터의 전압은

독립적으로 조절할 수 있도록 하였다. 출력 전력은 인버터의 여러 직류 입력 전압이나 동작 주파수를 통하여 조절될 수 있도록 하였다.

제논 램프의 동작 전압은 동작 전력이 감소함에 따라 선형적으로 증가한다. 따라서, 다음과 같이 간단한 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$V(P) = A_v + B_v P \tag{1}$$

반면에 램프 전류는 전력이 증가함에 따라 비선형적으로 서서히 증가한다. 실험 결과에 따르면 이차 다항식으로 램프의 전력에 따른 전류의 변화를 정확하게 표현할 수 있다[1].



[그림 1] HID 안정기의 전압-전류 곡선
[Fig. 1] Voltage - current characteristics curve of HID Ballast

$$I(P) = A_i + B_i P \tag{2}$$

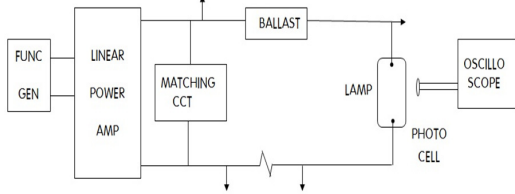
램프 전압 방정식과 전류 방정식을 조합하여 계산 과정을 용이하게 진행할 수 있다. 두 방정식의 파라미터는 동작 전력의 변화에 따른 전압과 전류 측정 실험결과를 통하여 결정할 수 있다.

최소 전압 (P_{min}), 중간 전압 (P_{mid}) 그리고 최대 전압 (P_{max}) 세 개의 동작 전압을 설정할 수 있고 식 (1)과 (2)의 계수는 다음 식 (3)과 같이하여 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_v \\ B_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & P_{min} \\ 1 & P_{max} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V(P_{min}) \\ V(P_{max}) \end{bmatrix} \tag{3}$$

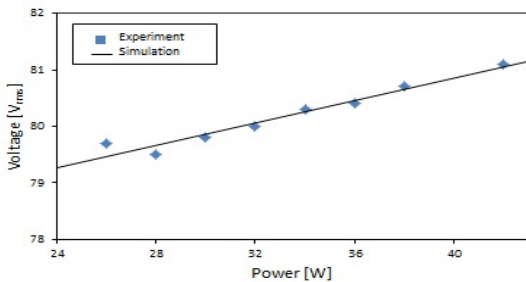
$$\begin{bmatrix} A_i \\ B_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & P_{min} \\ 1 & P_{max} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I(P_{min}) \\ I(P_{max}) \end{bmatrix} \tag{4}$$

상기 행렬식에 의거하여 동작 전력의 변화에 따른 램프의 전압과 전류의 측정치와 해석결과를 다음 Fig. 3, 4에 나타냈다. 식 (3), (4)에서 알 수 있듯이, 램프 전력 P는 전압 V와 전류 A에 선형적인 관계를 확인할 수 있다. Fig. 3, 4에서 알 수 있듯이 제논 램프의 전압과 전류의 실험 결과와 이론 해석 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 따라서, 기존 연구에서 복잡한 이론 및 수학적식을 적용하지 않더라도 제논 램프에서 발생하는 전압과 전류 변화를 비교적 간단한 수학적식으로 예측할 수 있었다. 고주파 점등 특성을 측정하기 위하여 함수 발생기에서 발생된 출력 신호를 선형 전력 증폭기에 입력시켜 고주파 전력을 얻었다. 함수 발생기의 출력 신호 주파수를 변화시켜 고주파 전력의 주파수를 변경하도록 하였다.

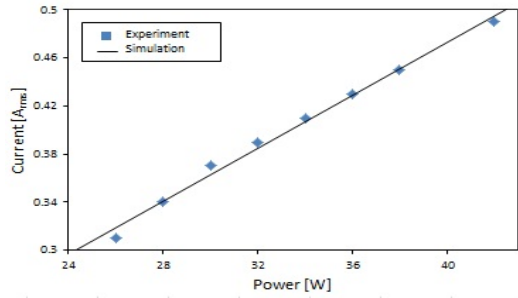


[그림 2] 측정회로의 구성도
[Fig. 2] Schematic diagram of measuring circuit

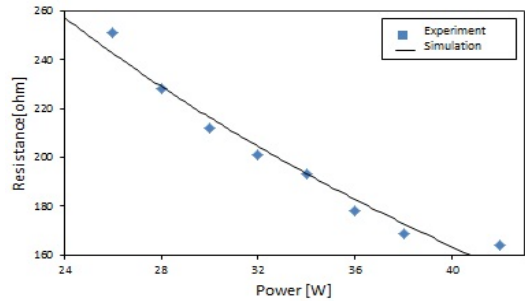
함수 발생기의 출력신호를 선형전력증폭기에 입력시켜 고주파 전력을 얻었다. 함수 발생기의 출력신호 주파수를 변화시켜 고주파 전력의 주파수를 변화시켰다. 선형 전력 증폭기의 출력에 유한소자와 램프를 직렬로 연결하여 점등시킴과 방전등에 적절한 전력을 공급하기 위하여 임피던스 매칭회로를 출력에 부가하였다. 또한, 이를 이용하여 램프의 소비전력에 따른 저항 값을 Fig. 5에 도시하였다. 램프의 전력이 증가함에 따라 램프 내부 가스의 이온화에 따른 이온화 증가되었기 때문에 저항 값이 감소한 것으로 추측된다.



[그림 3] 램프 전력에 따른 전압 변수
[Fig. 3] Variable of voltage according to lamp power



[그림 4] 램프 전력에 따른 전류 변수
[Fig. 4] Variable of current according to lamp power



[그림 5] 램프 전력에 따른 저항 변수
[Fig. 5] Variable of resistance according to lamp power

2.2 음극 강하의 등가모델 해석

아크 방전에서 전류의 양이 변함에 따라 양극 강하는 큰 변화를 보이지 않으나, 전류의 흐름이 감소함에 따라 음극 강하는 지수 함수적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 점화 전압 인가 시 고전압, 저 전류가 인가되는 조건과 비슷하다. 따라서 아크 램프가 정상상태에 이르기 전의 과도 상태에서 음극 강하를 세부적으로 살펴볼 필요가 있다. 특정 음극 강하 조건에서 음극 표면에 존재하는 전기장은 Poisson's 방정식을 사용하여 풀 수 있다. 만약 거리와 전압차가 음극에서 가장 많이 떨어진 음극 강하의 경계에서 측정되었다면, Poisson's 방정식은 다음 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = -4\pi\rho = -4\pi\left(\frac{j}{v} - \frac{i}{u}\right) \quad (5)$$

j : 양이온에 의해 전달되는 전류 밀도

i : 전자에 의해 전달되는 전류 밀도

V : 양이온의 속도 v : 음이온 속도

u : 전자의 속도

여기서 전체 음극 강하가 하나의 평균 자유경로 안에서 일어난다고 가정하면, 이 가정은 이 방정식의 해로부터 얻어진 결과와 일치한다. 따라서 j 와 i 모두 상수이고 x 에 독립이다. 게다가, 속도 V 와 u 는 음극 강하에서 다음의 식 (6)과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{2}Mv^2 = Ve \tag{6}$$

$$\frac{1}{2}mu^2 = (V_c - V)e \tag{7}$$

M : 양이온의 질량, m : 전자의 질량

V_c : 음극 전압

식 (6)과 (7)에서 V 와 u 를 식 (5)로 대체하면 다음의 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -4\pi [j(\frac{M}{2Ve})^{\frac{1}{2}} - i(\frac{m}{2(V_c - V)e})^{\frac{1}{2}}] \tag{8}$$

이는 적분할 수 있는 형태로 한번 적분하면 다음 식 (9)와 같다.

$$E^2 = 8(8\frac{dV}{dx})^2 = 16\pi \{j(\frac{MV}{2e})^{\frac{1}{2}} + i2(\frac{m(V_c - V)}{2e})^{\frac{1}{2}} - (\)i(\frac{mV_c}{2e})^{\frac{1}{2}}\} \tag{9}$$

여기서 경계조건은 $x = 0$ 일 때, $\partial V/\partial x = E = 0$ 이라고 가정하였다. 이 식은 단순한 함수로 적분되지 않으므로, 도식적인 적분법을 이용하여 더욱 간략화하면 다음과 같이 된다.

$$E^2 = 7.57 \times 10^5 \{j(1845WV)^{\frac{1}{2}} - i[(V_c)^{\frac{1}{2}} - (V_c - V)^{\frac{1}{2}}]\} \tag{10}$$

E : 단위길이(cm)당 전압

i 와 j : 단위면적(cm^2)당 전류

V 와 V_c : 전압

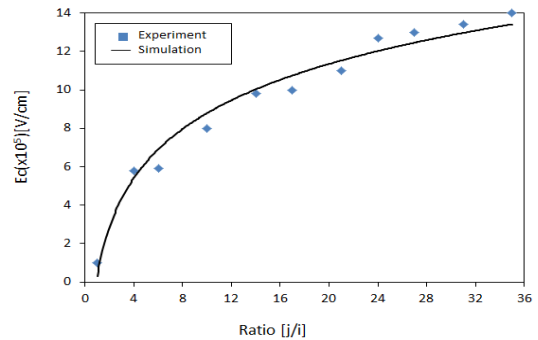
W : 양이온의 일반적인 원자질량

음극에서 전기장의 값은 다음 식 (11)과 같이 주어진다.

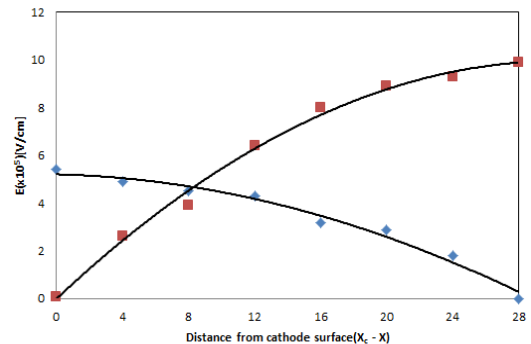
$$E_c^2 = 7.57 \times 10^5 (V_c)^{\frac{1}{2}} \{j(1845WV)^{\frac{1}{2}} - i\} \tag{11}$$

이 식은 주어진 음극 강하(V_c), 음극에 도달하는 이온 전류밀도(j), 음극으로부터 나오는 전자전류밀도(i)의 값들이 알려져 있을 때 음극에 존재하는 전기장을 결정하는 데 이용될 수 있다.

수은방전의 경우, i 와 j 에 대한 적절한 정해진 값이 존재하지 않는다. 음극 강하 V_c 는 10V에 근접한 값을 가진다. 음극에서 전류밀도 $i+j$ 는 단위 면적(cm^2)당 약 4,000A를 나타낸다. 이 값은 i 와 j 의 비에 따라 E_c 값을 계산할 수 있으며, 이를 그림 6에 나타내었다. 단위 면적당 전류의 비 i 와 j 의 비가 증가함에 따라서 음극 전기장의 수치는 거의 비례적으로 증가함을 알 수 있었다. 이 같은 현상은 제논 램프에서 발생하는 음극 전기장이 음극에 도달하는 이온 전류밀도(j), 음극으로부터 나오는 전자 전류밀도(i)에 직접적인 영향을 받기 때문이라 판단된다.



[그림 6] 전류비에 따른 전기장 변화
[Fig. 6] Variation of electrical field according to current ratio



[그림 7] 음극부터의 거리에 따른 전기장 변화
[Fig. 7] Variation of electrical field according to distance from cathode

또한, 식 (9)에서 $j=0.05i$ 라는 가정을 통하여 전기장을 도식적으로 표현할 수 있는데, 이는 전위 V 와 전기장 E_c 로 모두 나타낼 수 있다. Fig. 7은 이의 대표적 결과로서 음극 표면에서 부터의 거리에 따른 전기장 변화를 나타낸 것이다. 전기장 E 는 음극 표면으로 부터의 거리가 증가함에 따라서 전기장 크기가 증대됨을 알 수 있다. 그러나 전압 V 는 음극 표면으로 부터의 거리가 증가함에 따라서 전압 크기가 감소됨을 알 수 있었다. Fig. 6, 7, 8에서 취득한 실험 결과 값은 Fig. 2에서 기술한 것과 같이 방법으로 고전압 방전 특성을 계측한 것이다. 첨단 극소 가스방전 기술을 개발하기 위해서는 상기와 같은 제논 램프 방전시의 전기장의 특성을 정량적으로 판단하여야 하기 때문에 극소 가스방전 기술 개발에 활용 가능할 것이다.

3. 변압기 특성 해석

3.1 변압기 코어 특성 해석

극소 가스방전 기술을 구현하기 위해서는 제논 램프 및 음극 강하 부분에 대한 해석도 필요하지만 이를 지원하는 변압기의 특성해석 및 설계인자 도출이 요구된다. 자동차 조명장치에서 요구하고 있는 조도 규정을 수용할 수 있는 코어 손실과 권선 손실을 갖고 포화되지 않는 전압 시간 곱 제공이 가능한 코어 선정이 필요하다. 코어의 면적 곱 A_p 는 다양한 실험에 의한 시행착오에 의하여 얻어질 수도 있는데, 이를 일반화된 관계식으로 표현하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다. 두 식 (12)와 (13)에서 구한 결과 값이 상대적으로 큰 면적 곱 A_p 를 적용하되, 이 중에서도 이론값보다 큰 면적 곱 A_p 의 코어를 선택하여야 한다.

일반적인 전력용 페라이트 코어(Power ferrite core)에 있어서 히스테리시스 계수 $K_H = 4 \times 10^{-5}$ 이고 와전류 계수 $K_E = 4 \times 10^{-10}$ 이다. 또한, 주 회로 방식에 따른 K 인자 (Factor) 값은 다음 Table 1과 같다. K 인자는 전력용 페라이트 코어에서 면적곱에 영향을 끼치는 상수이다.

[표 1] 주요 회로에 따른 K 인자

[Table 1] K Factor according to main circuit methods

Main circuit method	K	K_t	K_u	K_p
Forward converter	0.141	0.71	0.40	0.50
Bridge/half bridge	0.165	1.0	0.40	0.41
Full wave center-tap	0.141	1.41	0.40	0.25

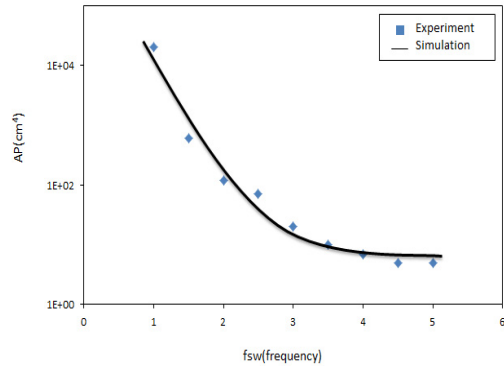
$$A_p = A_w A_e = \left[\frac{I_m 10^4}{K_t K_u K_p 420 \Delta B 2 f t} \right]^{1.31} \quad (12)$$

$$= \left[\frac{11.1 I_m}{K \Delta B f t} \right]_{cm^4}^{1.31}$$

$$A_p = A_w A_e = \left[\frac{I_m 10^4}{120 K 2 f t} \right]^{1.31} \quad (13)$$

$$\cdot (K_H f + K_E f^2)^{0.66} cm^4$$

- 여기서 K_t : lin(DC)/Ip (rms), Topology factor
- K_u : Aw'/Aw, Window utilization factor(0.40)
- K_s : Ap/Aw', Primary area factor,
- $K_t = K_t K_u K_c$, J = Current density
- f_t : Operating frequency
- A_p : Area product
- A_e : Area efficiency
- A_w : Area window utilization



[그림 8] 주파수 변화 따른 면적곱 변화
[Fig. 8] Variation of area product according to frequency

Fig. 8은 스위칭 주파수 변화에 따른 코어의 면적곱 값 계산을 위한 시뮬레이션 결과이다. 스위칭 주파수가 증가함에 따라 코어 면적곱 A_p 값이 줄어들어 코어 수를 적게 사용할 수 있기 때문에 가격 저감 및 크기를 줄일 수 있다. 따라서, 동작 주파수에 적합한 코어 면적곱의 정량적인 값을 평가할 수 있기 때문에 최적의 극소 가스방전 설계에 활용할 수 있을 것이다.

3.2 변압기 특성 해석

극소 가스방전 기술을 적용한 고압 펄스 이그나이터 설계를 위해서는 권선법의 설정, 포일의 재질, 코어의 재질 선택이 우선적으로 고려되어야 한다. 이를 보다 구체

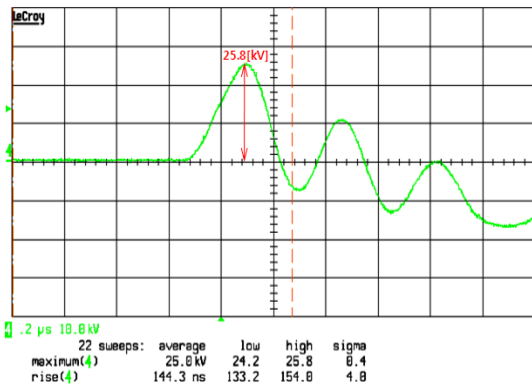
적으로 기술하면 1) 소형 경량화, 2) 1차 인덕턴스 0.5uH 이하, 2차 인덕턴스 1mH 이하, 3) 상승시간 100ns 이상, 23kV 이상 전압을 만족하는 변압기 특성이 요구된다.

극소 방전 기술이 적용될 수 있는 이그나이터 설계를 위해서는 이에 적합한 전용 변압기 설계가 필요한바, 상기에 기재된 요구사항에 입각한 두 가지 종류의 변압기를 제작하여 평가하였다. 1, 2차의 인덕턴스는 설계 기준에 준하여 설정하고 1, 2차의 권선수를 변화시켜 설계변수로 활용하였다.

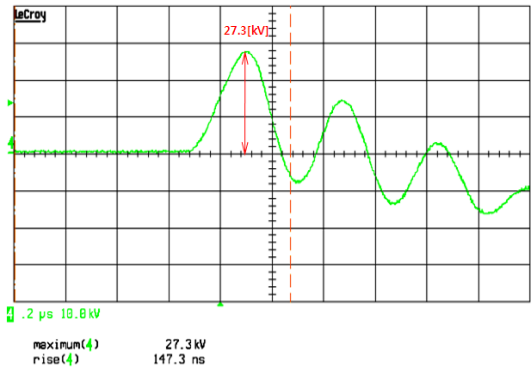
[표 2] 변압기 주요 사양

[Table 2] Main specifications of transformer

	I02	I03
Ferrite Core	Bar Type(D= 10mm, l= 30mm) ui = 400, Bm[mT]=50, Br[mT]=132, Hc[A/m]=64	Bar Type(D= 6mm, l= 25mm) ui = 400, Br[mT]=50, Br[mT]=132, Hc[A/m]=64
1차 권선수	2.5 Turns (W= 21mm, T= 12um)	3.3 Turns (W= 9mm, T= 12um)
2차 권선수	146 Turns (W= 21mm, T= 12um)	180 Turns (W= 9mm, T= 12um)
절연체	PET [35kV/mm]	PET [35kV/mm]
1차 Self Inductance	0.5uH	0.5uH
2차 Self Inductance	650uH	980uH



[그림 9] 권선수 3.3:180인 경우 고전압 펄스
[Fig. 9] Result of high voltage pulse in case turn number 3.3:180



[그림 10] 권선수 2.5:146인 경우 고전압 펄스 결과
[Fig. 10] Result of high voltage pulse in case turn number 2.5:146

Fig. 9, 10은 권선수에 따른 고전압 펄스 특성을 예측한 것이다. 권선수가 3.3 : 180으로 제작된 고압 변압기인 경우, Fig. 9에서 알 수 있듯이 무부하일 때 25.8kV의 고압 펄스가 생성되었다. 반면에 Fig. 8에서 보는 바와 같이 2.5 : 146(58)으로 제작된 고압 변압기의 경우, 무부하일 때 약 27.3kV 이상 고전압이 발생되었다. 변압기 권선수가 2.5 : 146으로 제작된 경우, 권선수가 3.3 : 180으로 제작된 변압기보다 높은 고전압 방전을 발생시킬 수 있음을 확인하였다. 이는 제한된 공간에서 변압기 페라이트 코어의 직경 및 크기의 증가, Al 포일의 면적 증가, 그리고 권선의 형상 최적화에 의하여 나타난 현상이라 판단된다.

따라서, 극소 가스방전 기술이 적용된 제논 램프를 설계. 제작하기 위해서는 발생 전압 측면에서 변압기 권선수가 2.5 : 146 일때, 고전압 발생이 최대 27.3kV 발생되어 적합함을 확인하였다.

4. 결론

본 논문은 자동차용 HID 조명장치에 적용되는 전자식 안정기의 핵심 부품에 대한 수학적 모델을 기존대비 간략히 하면서 정확도를 확보할 수 있는 방법을 제시하였다. 전극간의 간격을 4.2mm로 최소화시키는 극소 가스방전 기술 개발에 필수적인 제논 램프 및 음극 강화 현상에 대한 성능예측이 요구되는데, 실험을 통한 수학적 해석의 타당성 유용성을 검증하였다.

자동차 HID 조명장치의 핵심 부품인 코어인 경우, 일반 동작 주파수 대역인 20에서 30kHz 에 적합한 코어 면적은 1x10cm⁴ 대역임을 확인할 수 있었다. 또한, 자동

차 장전 램프에 적합한 최적 변압기 권선비는 2.5 : 146 일 때, 최대 고전압인 27.3kV가 발생됨을 확인하였는데, 이 같은 현상은 고전압으로 방전 현상을 일으키기 위함이다. 이는 국제적인 IEC 규격에서 요구하고 있는 23kV 대비 우수한 성능이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 도출한 수학적 모델링과 핵심 부품에 대한 설계 기준을 적용한다면 전극간의 간격을 4.2mm로 최소화시키는 극소 가스방전 기술 개발에 직접적으로 활용할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제안한 수학적 모델의 타당성을 검증하였는바, 실제 상용화로의 실용성을 증대시키기 위해서는 비선형성 특징을 고려한 이론적 고찰이 필요하다.

향후 연구에서는 비선형적인 특성 해석과 전극 간격을 최소화시켜 전체 램프 시스템을 소형화시키는 박형의 자동차 HID 램프 모듈을 제작하여 방전 성능을 평가할 계획이다.

References

- [1] Yan Jiang, Miaosen Shen, Hua Li, Zhaoming Qian, "An Adaptive Acoustic Resonance Free Electronic Ballast for HID lamps", IEEE IAS Annual Meeting, vol. 2, pp. 1020-1024, Oct, 2003
- [2] Chin Ming Huang, Tsomg Juu Liang, "A Novel Constant Power Control Circuit for HID Electronic Ballast", IEEE Transaction on, vol. 22, pp. 1573-1582, Sept. 2007.
- [3] T. J. Liang, C. A. Cheng, and W. S. Lai, "A Novel two Stage High Power factor Low frequency HID Electronics ballast", in proc. IEEE IECON 03, pp. 2607-2612, 2003.
- [4] M. Shen, Z. Qian and F. Z. Peng, "Design of a Two Stage Low Frequency Square Wave Electronics ballast for HID Lamps", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 39, no 2, pp. 424-430, Mar. 2003.
- [5] M. Sugaiura, "Review of Metal halide Discharge Lamp Development", IEEE Proceeding A, vol. 140, no. 6, pp443, November, 1993.
- [6] Kyu Chan Lee, Bo H Cho, "Design and Analysis of Automotive HID Lamp Ballast System Using Auxiliary", IEEE Transaction, 2000.

이 두 호(Du-Ho Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 울산대학교 전기전 자정보시스템공학부(공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 일반대학원 전기공학부 석사 재학 중

<관심분야>
자동차 전자제어

김 병 우(Byeong-Woo Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 기계공 학과 졸업 (공학사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 정밀기 계공학과 (석사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 정밀기 계공학과 (박사)
- 1994년 9월 ~ 2006년 8월 자동차부품연구원 전장시스템실장
- 2006년 9월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 교수

<관심분야>
지능형 자동차, 텔레매틱스, 자동차 전자제어