

# 순시 재점등을 위한 소형 HID램프 이그니터 변압기에 대한 연구

김우섭, 이인규, 김창균\*, 이규찬\*, 조보형  
 서울대학교 전기·컴퓨터공학부, (주)인터파워\*

## Optimal Design of the Ignitor Transformer for the Automotive HID Lamp Ballast

W.S. Kim, I.K. Lee and B.H. Cho  
 Seoul National Univ., INTERPOWER Co. Ltd.\*

### ABSTRACT

In this paper, the requirements for the HID lamp igniter transformer capable of hot strike are described. A small size high voltage (HV) transformer composed of a Rod type ferrite core and aluminum foil is designed. The Electro Magnetic characteristics are simulated with Finite Element Methodology (FEM). The design guideline of the HV transformer that produces an output voltage with a peak value of 25kV and a pulse width of larger than 100nS for a 35W automotive HID ballast prototype is discussed as an illustrative example

### 1. 서 론

HID 램프는 형광등과 백열등에 비해 밝기, 고효율, 색재현성, 긴 수명 등의 이점을 가지고 차세대 조명으로 각광받고 있다. HID 램프는 램프 고유의 동특성으로 인해 안정기 회로가 필수적이다.<sup>[1]</sup> 옥내용에 비해 자동차 헤드라이트, 비상조명등 같은 경우 순시 재점등 특성이 필수적이며 이를 위해 그림 1과 같이 일반적으로 안정기 내에서 외부 이그니터 회로를 추가한다.

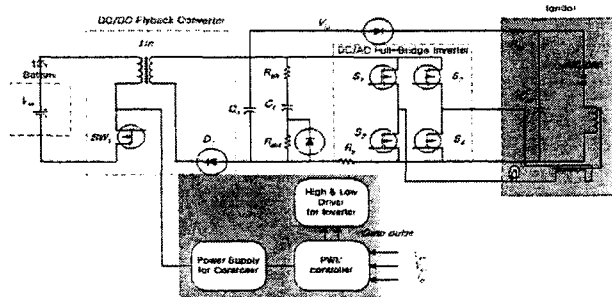


그림 1 자동차 헤드라이트용 안정기 구성도  
 Fig. 1 Overview of the Automotive headlight ballast

현재 헤드라이트 안정기 시장의 주요 목표는 성능은

물론 수려한 외관과 작은 크기 가격경쟁력이다. Takeover 전류용 콘덴서와 고압변압기, DC/DC converter의 변압기 등이 높이를 결정하는 주요 소자로 이들 소자의 최적 설계가 필요하다.

이그니터 회로에 대한 연구사항을 보면 고압변압기보다는 입력회로에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.<sup>[2],[3]</sup> 최적설계를 위해서는 회로뿐 아니라 고압변압기에 대한 해석이 수반되어야 한다. 특히 D1type HID Lamp의 상용화가 이루어지면 램프부에 이그니터 회로가 램프부에 장착되기 때문에 소형화가 요구된다.

본 논문에서는 자동차 헤드라이트용 고압변압기 설계에 있어서 요구사항과 이를 고려한 이그니터 변압기의 특성을 FEM tool을 이용하여 분석한다. 고압변압기 최적설계에 대한 설계안을 제시하고 결과를 35W HID 안정기 실험회로에 장착하여 검증한다.

### 2. 고압변압기 요구사항

#### 2.1 이그니터 회로 구조

이그니터 회로는 그림 2와 같이 램프와 고압변압기 2차측의 연결 상태에 따라 직렬연결과 병렬연결로 구분된다.<sup>[4]</sup> 전압스트레스 이득으로 인해 대부분의 회로에서는 직렬연결을 채택하였다. 직렬연결의 경우 정상상태에서

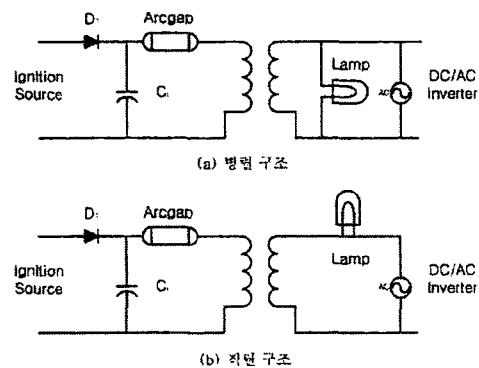


그림 2 이그니터 회로 구성도  
 Fig. 2 Ignition circuit connected with PowerStage

고압변압기 2차측이 직렬 인덕턴스로 작용하게 되고 이로 인한 인버터 출력전압의 과도상태의 기울기의 저하를 가져오게 되며 최악의 경우 램프가 방전을 유지하지 못한다.<sup>[5]</sup> 변압기 2차 인덕턴스의 제한이 필요하며 크기와 인덕턴스 제한을 고려한 최적설계가 필요하다.

표 1 고압변압기 설계시 요구사항

Table 1 Requirements for designing the HV transformer

항목	요 구 사 항
Skin effect	정상상태에서 램프전류에 대한 해석 필요
2차 인덕턴스	방전유지를 위한 2차 인덕턴스의 최대값 고려
기생성분	그림 3 및 식(1)에서 $T=2\pi\sqrt{L_1Ca}$ $a = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 로 기생성분이 출력전압에 영향을 줌 <sup>[6],[7]</sup>
결합계수	에너지 전달 최대화
고전압생성	방전개시전압 발생
자기포화	Air core 도입 <sup>[8],[9]</sup> ⇒ 본 논문에서는 자기인덕턴스를 늘리고 누설인덕턴스를 줄이기 위해 Rod type ferrite core 도입
절연과피	절연내압 고려한 절연체 선정
크기 및 가격	단순하고 작은 크기와 낮은 가격

## 2.2 고압변압기 설계시 요구사항

일반적인 변압기와 중대형용 고압변압기의 설계와 대비하여 HID 램프용 고압변압기 설계시 요구사항은 표1과 같다.

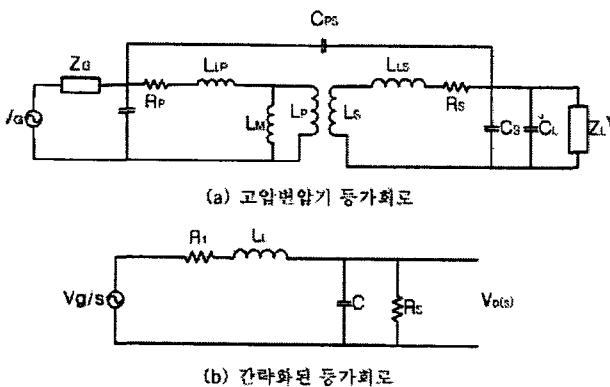


그림 3 고압변압기 등가회로

Fig. 3 Equivalent circuit of HV transformer

## 3. FEM을 통한 설계요소 분석

### 3.1 코어 길이에 따른 인덕턴스 및 결합계수의 변화

코어의 형상적 변화에 따른 변화를 분석하기 위해 우선 코어 길이의 변화를 주고 그 결과를 그림 4에 도시하였다. 코어 길이가 길어질수록 전체 공간상의 투자율이

높은 페라이트 성분이 차지하는 부분이 커지게 되므로 이에 따른 인덕턴스가 증가함을 알 수 있다. 코어길이에 따른 유효자속경로의 길이가 커지기 때문에 인덕턴스가 감소해야 하는 것으로 생각할 수 있지만 실제 fringing 자속에 의한 유효단면적이 커지는 효과도 함께 생각할 수 있다. 결합계수도 상승하였으며 실제 설계시 0.9 이상의 높은 결합계수를 유지하기 위해서는 최소 2cm이상의 길이를 유지해야 한다.

$$V_o(s) = \frac{V_g}{s} \frac{R_2 \parallel \frac{1}{sC}}{R_2 \parallel \frac{1}{sC} + R_1 + sL_1} = \frac{V_g}{sL_1C} \frac{1}{(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)} \quad (1)$$

여기서

$$C \approx n^2(C_s + C_l) + C_p$$

$$R_1 = R_p + Z_g$$

$$R_2 = \frac{Z_l + R_s}{n^2}$$

$$L_1 \approx L_{lp} + \frac{L_{ls}}{n^2}$$

$$\alpha_1, \alpha_2 = \left[ \left( \frac{R_1}{2L_1} + \frac{1}{2R_2C} \right) \pm \sqrt{\left( \frac{R_1}{2L_1} + \frac{1}{2R_2C} \right)^2 - \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2CL_1} \right)} \right]$$

### 3.2 코어 단면적에 따른 결합계수 변화

그림 5와 같이, 코어 단면적의 경우 일반식과 같이 인덕턴스와 비례관계에 있음을 알 수 있다. 단면적에 대한 결합률이 길이에 대한 결과보다 떨어지게 나타났는데 그림6의 자속벡터의 흐름을 살펴보면 코어 단면적이 커질수록 누설자속이 증가함을 알 수 있다.

### 3.3 권선방법에 따른 변화

그림 7을 통해 권선법을 비교해보면 (a)의 경우가 (c)의 경우에 비해 상대적으로 결합률이 낮아졌는데 절연과피 방지를 위한 보빈 설계와 1,2차측 전선간의 비대칭 배치로 인한 결과이다. (b)의 경우 1차측을 밖으로 처리하여 결합계수가 높아졌으나 여전히 절연형 보빈설계의

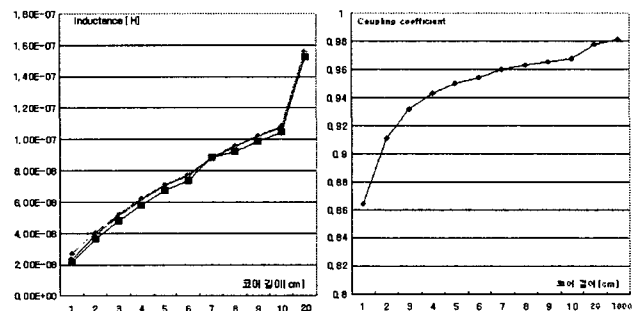


그림 4 코어 길이에 따른 인덕턴스 및 결합계수의 변화

Fig. 4 Inductance and coupling coefficient variation with different core length

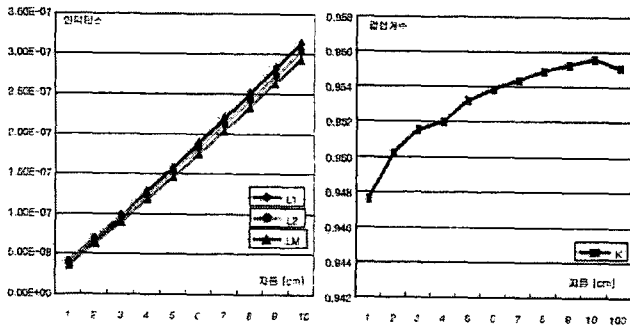


그림 5 코어 단면적 변화에 따른 인덕턴스 및 결합계수의 변화  
Fig. 5 Inductance and coupling coefficient variation with different core cross areas

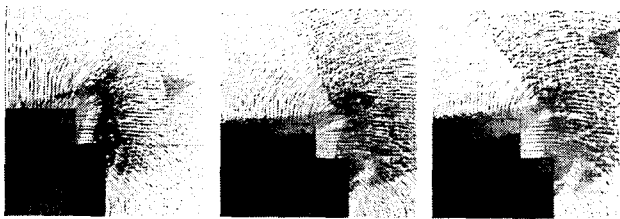


그림 6 코어 단면적 변화에 따른 자속벡터의 흐름  
Fig. 6 Flux vector simulation with respect to the core diameter

문제가 있다. 반면 (c)와 같은 경우 권선이 쉽고, 결합계수가 높으며, 박 사이에 얇은 절연체를 겹쳐 감아서 쉽게 절연내력을 가질 수 있다.

#### 4. 이그니터 변압기 설계 및 실험결과

##### 4.1 변압기 설계 고려사항

현재까지의 연구에 따르면 2차 인덕턴스가 1mH를 넘지 않아야 램프 방전에 영향을 끼치지 않는다. 이를 고려한 이그니터 변압기 설계를 그림8의 블록 다이어그램과 같이 설계한다. 박 권선법(그림7(c))을 이용하며, 박의 두께는 동박과 알루미늄의 차이에서 정상상태 램프 전류, 온도보정계수, 알루미늄

$$A = \frac{I_{\max}}{I'_{\max} \cdot k \cdot 0.625} = 0.27 \sim 0.44 [\text{mm}^2] \quad (2)$$

$$\delta = \frac{7.5}{\sqrt{f}} \cdot \sqrt{0.625} = \frac{5.9}{\sqrt{f}} [\text{cm}] \quad (3)$$

미늄의 도전율을 감안하여 계산한 넓이와 skin effect를 고려한 결과에 의해 구할 수 있다. 식(2), (3)을 이용하여 결과를 그림 9에 도시하였다. 칩두께  $d \ll \delta$ 인 경우 포일에 의해 skin effect를 무시할 수 있으므로 그림 9에서와 같이 도선 두께는 20um 이내로 설계한다.

그림 10과 같이 FEM을 이용하여 얻은 식(4)를 이용하여 1mH보다 작은 2차 인덕턴스를 계산하며 여기서 나

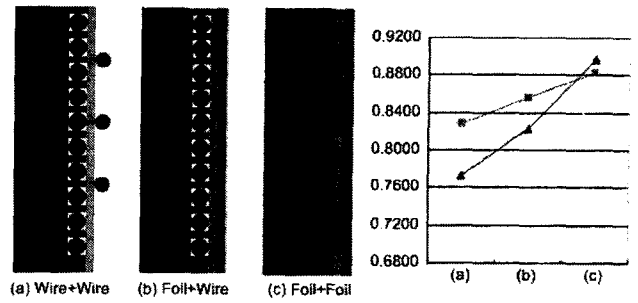


그림 7 권선법에 따른 결합계수 비교  
Fig. 7 Flux vector evaluation with different core cross areas

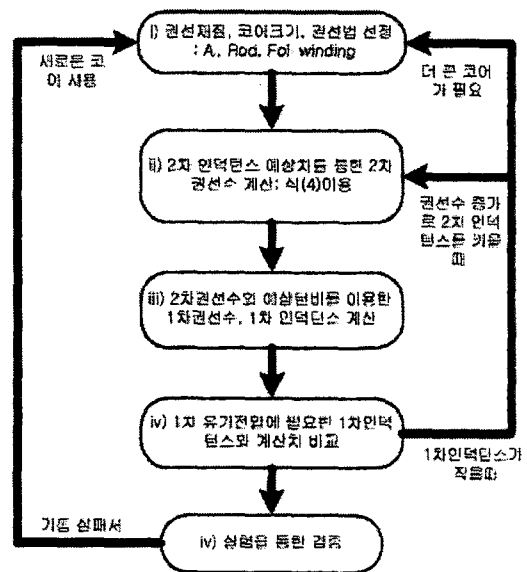


그림 8 고압변압기 설계 블록 다이어그램  
Fig. 8 HV transformer design block diagram

온 권선수와, 권선법에 따른 결합계수를 이용, 결합계수를 고려한 권선비, 1차측의 최소 권선수를 구할 수 있다. 25kV를 발전하기 위해 박권선법을 이용할 경우 턴비는 식(5)과 같이 된다

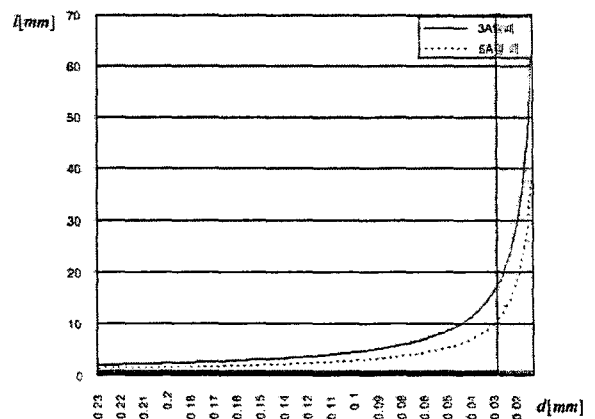


그림 9 도체두께에 따른 최대허용전류별 도체폭 비교  
Fig. 9 Width variation of foil conductor comparison with thickness

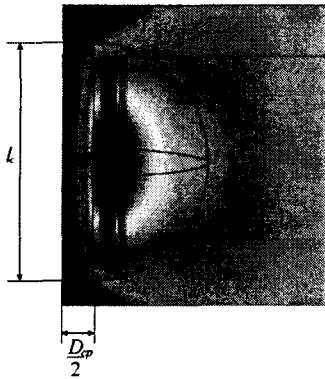


그림 10 자속분포를 고려한 변압기 파라미터  
Fig. 10 Transformer geometry in manner of flux distribution

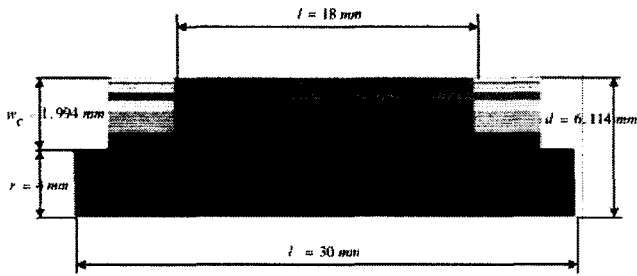


그림 11 설계된 고압변압기 사양(R-Z모델)  
Fig. 11 Designed HV transformer specification(R-Z model)

$$L_2 = \frac{u_o n^2 A_c}{l_c} \frac{1}{\frac{1}{u_r} + \frac{\pi}{2 \cdot (1 + \frac{l_g}{D_{cp}})^2}}$$

$$\cong \frac{u_o n^2 A_c}{l_c} \frac{2}{\pi} \left(1 + \frac{l_g}{D_{cp}}\right)^2 \quad (4)$$

표 2 설계 파라미터  
Table 2 Design Parameter

Ferrite Core	Rod type (diameter(D) : 8mm, length(L) : 30mm), $\mu_i$ : 400. $B_m$ [mT]: 50(25°C), 800(100°C), $B_r$ [mT] : 132, $H_c$ [A/m] : 64
Primary winding ( $n_1$ )	5 turns (Al, width[mm]: 16, thickness[um] : 14)
Secondary winding ( $n_2$ )	180 turns (Al, width[mm] : 16, thickness[um] : 14)
Insulator	Polyethylene (23[kV/mm])
Primary self inductance ( $L_1$ )	1.2 [uH]
Secondary self inductance ( $L_2$ )	840 [uH]

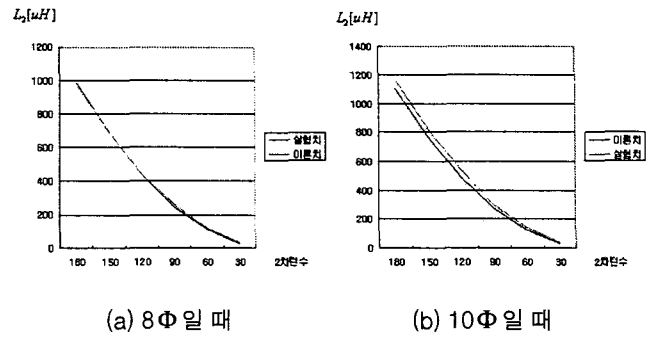


그림 12 2차 인덕턴스의 이론과 실제 설계값  
Fig. 12 Real secondary inductance vs Calculated

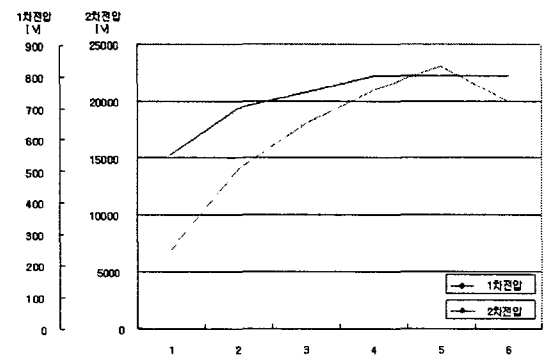


그림 13 1차 유기전압 및 2차 유기전압 비교  
Fig. 13 Secondary voltage vs Primary voltage

$$n_{12} = \frac{25000}{0.85 * 800} = 36.76 \quad (5)$$

그림 11과 같이 변압기를 설계한 후 실험한 결과, 그림 12에서 식(4)에서 계산한 값을 실제 제작한 실험값을 통해 검증하였다. 그림 13에서 보는바와 같이 1차 권선수에 따른 유기전압을 비교해 본 결과 최소 4턴이상의 권선이 필요함을 알 수 있다. 그림 14를 통해 제작된 고압변압기의 초기 기동특성 및 순시 재점등 특성을 확인한다.

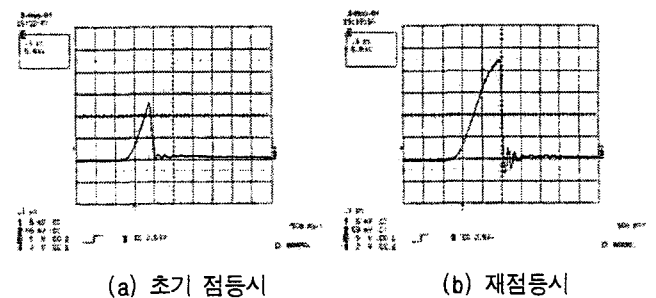


그림 14 설계된 고압변압기 사양(R-Z모델)  
Fig. 14 Designed HV transformer specification(R-Z model)

## 5. 결 론

자동차 헤드라이트용 HID램프 안정기 이그니터 변압기 설계시 고려사항을 연구하고 순시 재점등이 가능한 고압변압기 설계법을 제시하였다. FEM을 이용하여 설계식의 타당성을 검토하고 초기기동실험, 순시 재점등 실험을 통해 설계된 고압변압기의 성능을 확인하였다.

이 논문은 (주)인터파워의 위탁연구과제에 의하여 연구되었습

## 참 고 문 헌

- [1] Kyu-chan Lee, B.H. Cho, "Design and Analysis of Automotive High Intensity Discharge Lamp Ballast using Microcontroller Unit", Power Electronics IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 18, No 6, pp. 1356-1364, 2003, November.
- [2] Moo, C.S. Moo, T.F. Lin and Y.C. Chuang, "Designing an igniter for short-arc xenon lamps," 34thIAS Annual Meeting. Conference Vol. 1, PP 612-617, 1999, October.
- [3] Y.-Q. Hu, J. Zhang, W. Chen and C.-C Wen, "Analysis and design of metal halide lamp igniter ",PESC. 2001, Vol. 1, PP 132-137 2001, Jun.
- [4] T.F. Lin, C.S. Moo, and Moo Hsieh, "An electronic gear for short-arc xenon lamps," PCC Osaka 2002, Vol. 3, PP 1468-1472, 2002, April.
- [5] "Requirements for Igniter for Xenon lamps", OSRAM Munich Germany, 1978
- [6] P. W. Smith, "Transient Electronics," JOHN WILEY & SONS, LTD, PP 137-168, 2002.
- [7] L.M. Redondo, E. Margato and J.F. Silva, "Rise time reduction in high-voltage pulse transformers using auxiliary windings" Power Electronics, IEEE Transactions on , Vol. 17 Issue: 2 , PP 196-206, 2002, March
- [8] J.P. O'Loughlin, J.D. Sidler and G.J. Rohwein, "Air core pulse transformer design," Power Modulator Symposium, 1988, PP 325-330, 1988, Jun.
- [9] J. C. Martin and I.D. Smith "High Voltage Pulse Generating Transformer", US Patent No. 3456221(1969)
- [10] R.W. Erickson, D. Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics" 2000
- [11] "Getting Started: A 2D Magnetic Force Problem, 2D Eddy current Problem', Ansoft, 2003, November.