

고압방전램프용 고효율 자기식 안정기의 코아 설계

김성원\*, 변재영, 박규영, 김윤호  
 중앙대학교\*, 중앙대학교, 대한트랜스, 중앙대학교

Design Magnetic Cores of High Efficiency Magnetic Ballast  
 for High Intensity Discharge Lamps

Sung-Won Kim\*, Jae-Young Byun, Kyu-Young Park, Yoon-Ho Kim

**Abstract** - 본 논문은 고압방전(HID)램프용 안정기의 효율을 향상시키기 위하여 자기식 안정기의 코아 및 코일의 권회수에 따른 특성을 분석하고 이를 바탕으로 코아를 설계하는 것이다. 코아의 재질 및 형상에 따른 자속분포를 자계해석 프로그램으로 해석하여, 기존 제품안정기 효율 90%에 비해 향상시킬수 있는 기초배경 및 설계방안을 제시하였다.

1. 서 론

본 논문은 HID램프용 고효율 자기식 안정기를 개발 목적으로 현재 정부출연 자금으로 90%의 진행중에 있는 과제로서 개발의 필요성 및 기대효과에 대해 기술한다. HID램프용 고효율 자기식 안정기의 기술개발 목적 및 중요성은 국내 전기소비 구조는 선진국과 비슷한 수준이지만, 국내 조명기기 산업은 선진국에 비추어볼 때 현저히 낙후되어 있는 실정이다[1-2]. 전기에너지의 소비량은 국민소득 및 생활수준의 향상으로 매년 11%이상 급증하고 있으며, 이에 따라 조명부문의 전기에너지 소비량은 매년 증가하여 2006년에는 5만 GWh 이상 소비될 것으로 추정된다. 국내 총발전량의 약 18%가 조명에 사용되고 그중 HID램프용 안정기가 차지하는 점유율은 30%에 달하고 있다[1-4]. 현 국내시장의 100%를 차지하는 자기식 안정기의 효율은 약85% 내외이고 이를 92%이상으로 향상시킴으로써 에너지 절약 파급효과가 클 것으로 기대된다. 기술개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 1) 메탈할라이드 램프용 자기식 안정기와 고압나트륨 램프용 자기식 안정기 원리
- 2) 코아의 FEM 및 응용프로그램에 의한 자계해석 기술회
- 3) 자기식 안정기의 기본설계 방법 및 특성분석 연구

2. 본 론

2.1 HID램프 및 자기식 안정기 원리

2.1.1 HID램프 및 자기식 안정기 동작

HID램프용 자기식 안정기는 램프에 공급되는 전류를 제한하는 한류장치로서 램프의 원활한 시동을 돕고 전력용 콘덴서로 역율을 개선하여 전원을 램프에 일정하게 공급하는 역할을 한다. HID램프는 부저항 특성을 갖기 때문에 일정전류이상으로 전원이 인가되면 램프는 파손된다. 그래서 안정기가 필요하다. 전원이 인가되면 만도체 스위칭소자 (이그나이터) 또는 리드피크형 안정기의 국부자기 포화에 의하여 펄스폭이 넓은 고전압 펄스가 안정기 2차측에 유기되고 이 펄스를 이용하여 램프 보조 전극간 또는 주전극간에 방전이 발생되고 주전극과 보조전극의 방전은 발광관내 방전이 쉬운 상태로 만들며 주전극간에 방전이 시작된다. 방전의 열로 발광관내의 수은, 금속할로겐 화합물이 증발하게 되고 발광관내

가 일정온도로 상승하게 되면 바이메탈 스위치가 개방되어 시동회로를 차단하여 이그나이터에 의해 고전압의 펄스가 더 이상 유기시키지 않으므로 램프 및 안정기에 손상을 입히지 않게 한다. 시동시 방전램프는 점등직후 즉시 밝아지지 않고 일정시간이 지나면 안정점등상태에 이르게 되는데 이것은 발광관의 온도가 낮고, 증기압도 낮기 때문이다. 발광관내의 증기압이 상승함에 따라, 램프 전압, 전류가 안정되며, 정류의 밝기에 도달한다. 시동시에서 안정시까지의 시간은 램프의 종류와 사용 안정기에 따라 다소 차이가 있으나 기준은 8분 이내에 안정화가 되어야 한다. 전원전압이 변동하면 램프전력, 전류, 광속등의 램프특성이 변화하는데 그변화 정도는 램프의 종류나 사용 안정기에 따라 큰 차이가 있다. 전원전압이 너무 낮으면 시동이 불안정하기도 하고, 램프가 소등되는 경우도 발생한다. 그리고 전원전압이 너무 높으면 램프 및 안정기의 수명이 짧아지므로 가능한 전원전압은 정격의 ± 10% 범위내에서 사용하여야 한다[5].

2.1.2 안정기의 회로 구성 및 원리

그림 1은 HID램프용 자기식 안정기의 회로구성을 나타낸 그림이다. 일반적으로 초크코일펄스형(CCP) 회로방식을 가장 많이 사용하고 있는데, 설치비가 저렴하고, 타회로방식에 비해 소형경량이고, 입력전압변동이 적은 장소에서 사용을 하여야 한다. 회로가 간단하여 단가면에서도 저렴하고 역율은 90%이상이다. 그 밖의 용도에 따라 여러 가지 회로방식이 있으나 본 논문에서는 가장 대중적으로 사용하는 초크코일형(CCP)방식을 채택하였다. 그림에서 보듯이 전원이 인가되면 L을 통하여 램프로 전원이 공급되는데 HID램프 특성상 고압의 방전시동전압이 필요로 하기 때문에 시동보조 전자적 장치인 이그나이터를 부착하여 원활한 시동을 돕고 전력용 콘덴서를 부착하여 역율을 90%이상으로 개선하였다. 그리고 콘덴서에 충전된 잔류전압을 방전시키기 위한 방전 저항을 부착하였다[7-9].

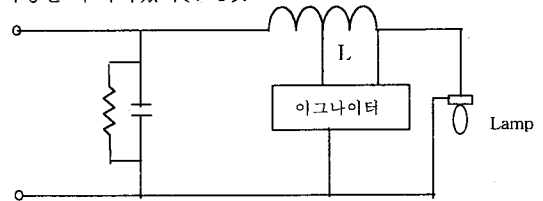


그림 1. 코아자계해석 자속선도

2.1.3 안정기의 주요기능

HID램프는 부저항 특성을 갖기 때문에 일정 전류이상으로 전원이 인가되면 램프의 전류는 급격히 상승되어 곧 램프는 파손된다. 그래서 전류를 제한하는 한류장치인 자기식 안정기가 필요로 하는데, 이것이 HID램프용 자기식 안정기의 가장 중요한 기능이라 할 수 있다. 또한 HID램프의 내관에는 고압의 가스와 복합산화물이

있는데 이를 방전시키기 위해선 고압의 펄스가 필요하다. 물론 그 종류와 용량에 따라 펄스전압의 차이는 있지만 2,000 V<sub>Peak</sub>에서 4,500 V<sub>Peak</sub>가 방전개시 전압으로 필요로 한다. 이 또한 HID램프용 자기식 안정기의 주요 기능이다. 즉, 안정기의 내부에는 램프의 원활한 시동을 돕기 위해 전자적시동보조장치인 이그나이터가 높은 펄스전압을 순간적으로 인가 하여 주고, 점등이 되면 이그나이터의 작동은 멈춘다. 그리고 마지막으로 전력용 콘덴서로 역을 개선하여 전원을 램프에 효율적으로 일정하게 공급하는 역할을 한다. 현재 2차측 즉, 램프가 수명이 다하거나 고장시에는 자동적으로 전원을 차단하여 안정기의 고장을 미연에 방지하는 자기 차단식 안정기가 개발 진행 되고 있고, 2차측이 고장이 나거나 안정기의 이그나이터가 고장이 발생시 고장식별장치(LED)를 부착하여 램프 및 안정기의 소손을 최소화 하는 안정기도 개발되고 있다. 이외에 안정기의 기능을 강화한 여러 가지의 연구가 계속되고 있으며, 고효율제품 개발 연구도 계속 되고 있다[1-5].

## 2.2 자기식 안정기의 자계해석

전자장 해석의 문제는 일반적으로 주어진 경계 조건을 Maxwell 방정식을 이용하여 해석하는 문제이다[6]. Maxwell 방정식은 모든 광범위한 전자장의 현상을 지배하는 기본 방정식들로 구성되어 있으며 미분형과 적분형으로 구분되어 있지만, 정자장(Magnetostatic)문제에서 지배 방정식을 도출하기 위하여 유한요소법에서 이용되는 미분형 Maxwell방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (2.1)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

여기서 각 기호의 의미는

$$\vec{D} = \text{전속밀도(Electric field density)} \quad [\text{C/m}^2]$$

$$\vec{H} = \text{자계강도(Magnetic field intensity)} \quad [\text{A/m}]$$

$$\vec{B} = \text{자속밀도(Magnetic flux density)} \quad [\text{Wb/m}^2]$$

$$\vec{J} = \text{전류밀도(Electric current density)} \quad [\text{A/m}^2]$$

또한 보조 방정식으로 식(2.4), 식(2.5)를 이용하여,

$$\vec{D} = \sigma \vec{E} \quad (2.4)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{H} \quad (2.5)$$

여기서  $\epsilon, \sigma$ 는 각각 도체의 유전율(Permittivity F/m), 도전율(Conductivity)을 나타낸다. 그림 2는 E/E형 코어의 자계해석 결과이다. 자속분포가 골고루 분산됨을 볼수 있고, E/I형보다 유리하다.

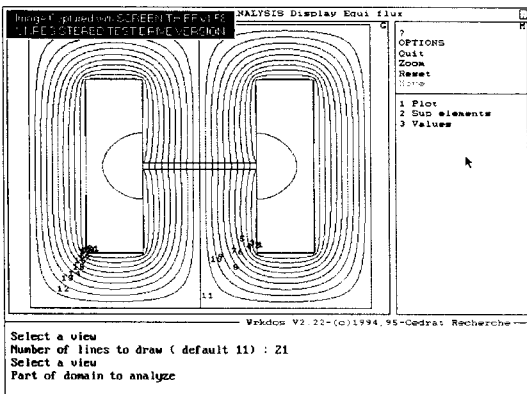


그림 2. 코어자계해석 자속선도

## 2.3 안정기 설계 및 분석

### 2.3.1 안정기의 기본설계

자기 회로식 안정기의 손실을 줄이고 효율을 향상시키기 위하여 사용재료의 선택과 설계, 제조공정까지 일관성 있게 진행되어야 한다. 특히 동손과 철손을 최소화하기 위한 배려가 요구된다. 자기 회로식 안정기의 핵심은 자성재료에 있다. 자속밀도가 높은 자성재료의 사용은 동손과 철손을 동시에 줄일 수 있다. 또한 동선의 순도와 설계된 코어의 창 면적에 사용할 수 있는 최대의 관경의 동선을 사용하므로 동손을 줄일 수 있다. 일련의 효율향상을 위하여 합리적 철심과 동선의 점적율을 제고하기 위한 최적설계가 필요하다. 직렬 리액턴스형의 초크코일 방식의 안정기 설계시 중요한 계산방안을 제시하면 아래와 같다[5-6].

\* 단자전압 : E

\* 전 류 : I

\* 전류밀도 : J

\* 전 력 손 : P 라 하면

가) 권선당의 比電壓 계산

$$\text{비전압 } e = C \times E \times I_L / 2 \quad (3.1)$$

식에서 C는 상수로서 내철형의 경우 0.02 정도이다.

나) 동선의 권회수계산

$$\text{권회수 } N = E / e \quad (3.2)$$

다) 철심의 단면적(A) 계산

$$A = e / (4.44f \times B_m) \quad (3.3)$$

라) 동선의 총 단면적과 (Sc m<sup>2</sup>)과 선경의 계산

안정기에 권선될 총 동선의 단면적 (Sc m<sup>2</sup>)는 식 (3.4)와 같이 계산되며

$$Sc = I_L / J \quad (3.4)$$

선경 d m (원형코일의 경우)은 식 (3.5)와 같이 계산된다.

$$dc = \sqrt{4Sc} / \pi \quad (3.5)$$

마) 철심의 치수와 평균자로길이(Li)의 계산

철심의 창면적과 평균 자로길이의 관계는 철심의 형상에 따라 결정된다. 그림 3과 같은 외철형의 경우 철심의 창폭 C(cm)를 기준으로 해서 철심의 측각폭 a(m)와 창의 높이 d(m)를 나타내면 식(3.6)과 (3.7)와 같다.

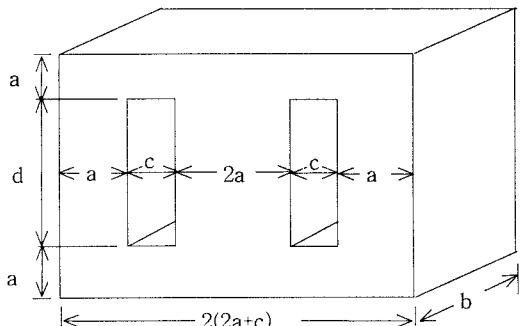


그림 3. 코어자계해석 자속선도

$$\text{창의 폭 } a = K_1 \times c \quad (3.6)$$

$$\text{창의 높이 } d = K_2 \times c \quad (3.7)$$

( $K_1, K_2$ 는 철심형상 따른 상수)

이 식에서 창면적 Aw (m<sup>2</sup>), 평균자로길이 Li(m), 철심 폭 W(m), 철심의 높이 h(m) 즉 철심창 각각의 치수는

$$\text{철심의 창면적 } Aw = K_2 \times c \quad (3.8)$$

$$\text{철심평균자로길이 } Li = 2c \times (1 + 2K_1 + K_2) \quad (3.9)$$

$$\text{철심의 폭 } W = 2c \times (1 + 2K_1) \quad (3.10)$$

$$\text{철심의 높이 } h = c \times (2K_1 + K_2) \quad (3.11)$$

이고, 위의 치수표시중 철심의 창면적(Aw)는 동선의 면적(Sc)과 보빈의 면적, 절연재등 동선의 점적율(Fc)를 고려하여 식 (3.12)과 같이 결정된다.

$$Aw = N \times I_L / (Fc \times J) \\ = N \times Sc / Fc \quad (3.12)$$

여기서 식 (3.8)과 식 (3.12)로부터  $K_2$ 가 정해진다. 철심의 자로길이 Li는 식 (3.8)과 식 (3.9)에 의하여 다음과 같이 계산된다.

철심 평균 자로길이

$$Li = 2(1 + 2K_1 + K_2) \times \sqrt{AwK_2} \quad (3.13)$$

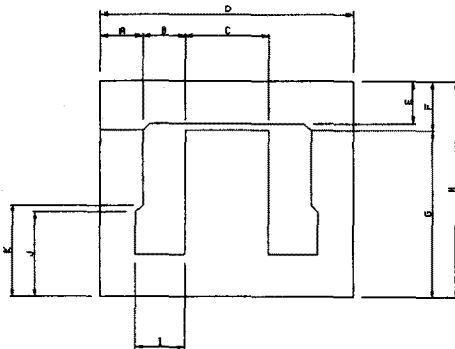
한편 철심의 적층두께(b)는 철심의 점적율(Fi)에 따라 식 (3.14)와 같이 계산된다.

$$\text{철심의 적층두께 } b = Ai / (a \times Fi) \quad (3.14)$$

### 2.3.2 철심설계 및 형상

앞절에서 실험결과를 근거로 규소강판의 종류는 포함 제철의 G-9급의 규소 강판을 사용하였다. 앞장 2절에서 다른 자계해석결과와 앞절에서 다른 자기식 안정기의 기본설계방법을 근거로 최적 코아 형상은 E/I코아 형태로 자계해석결과에 E/E형 코아보다는 E/I형 코아가 수요 면에서 훨씬 경제적이므로 E/I형 코아를 채택하였고, 압연방향성을 적용한 E/I 코아의 치수와 구조는 그림 4와 같다[5-6].

여기서, MH-250W는 메탈할라이드 안정기 250W급이고, NH-250W급은 고압나트륨 안정기 250W급이다. 치수 T는 적층두께를 나타낸 것이다. MH-250W와 NH-250W 그리고 MH-400W에 사용하는 96mm코아는 공극이 1.8mm이고, NH-400W에 사용하는 114mm코아는 공극이 2.0mm이다. 공극에 따라 특성차이가 많이 나오므로 공극부문의 허용오차는  $\pm 0.05\text{mm}$ 이다.



ITEM	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	T
MH-250W	16	16	32	96	16	17.8	64	81.8	17.8	31.8	33.6	45
NH-250W	16	16	32	96	16	17.8	64	81.8	17.8	31.8	33.6	50
MH-400W	16	16	32	96	16	17.8	64	81.8	17.8	31.8	33.6	45
NH-400W	16	16	32	114	16	21	76	97	21	37.8	39.8	50

그림 4. 코아형상 및 치수

### 2.3.3 권선 설계

표3.1은 메탈할라이드용 안정기 250W의 제원을 나타낸 표이다. 메탈할라이드 안정기 250W급 보빈에 감긴 코일을 380회에서 323회까지 1회씩 감소 시키면서 특성을 체크한 결과 권회수가 감소할수록 2차측에 걸리는 관전압이 증가함을 볼 수 있고, 그 특성은 선형적인 특성을 나타낸다[5]. 이는 안정기의 임피던스를 조절함으로써 램프에 따른 적합한 용량을 설정하고, 선경을 조절하여 전류밀도를 적절하게 설계함으로써 안정기의 특성을 맞추는데 권회수를 선정한다.

표 3.1 메탈할라이드 안정기 250W 급 제원

구분	제원	구분	제원
에나멜동선 재질	1PEW	코아재질	E,(G-9급)
에나멜동선 선경	Ø1.0	코아 Size	96×45[mm](1.8gap)
권회수	380회	콘덴서용량	250V/16.5µF
보빈Size	96 × 45[mm]	제품크기	100× 85× 200[mm]

## 3. 결 론

본 논문은 HID램프용 고효율 자기식안정기의 개발필요성과 그 파급효과를 제시하였고, 최적형코아를 이론을 바탕으로 설계과정을 서술하였다. E/I형태의 코아보다 E/E형태의 코아가 유리함을 자계해석을 통해 확인하였다. 그러나 경제성을 고려할 때 코아의 수요측면에서 E/I코아가 유리하므로 최적형 코아를 선정하기 위해서는 이러한 장단점을 종합적으로 고려하여야 한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 青野正明 교수, "외국의 조명 및 등기구의 기술동향", 형광등기구 및 안정기세미나, EASK, pp.17-29, 1998
- [2] 여인선, "국내 조명기술 연구개발 현황", 고효율 조명기기 기술개발 성과발표집, 통산산업부/에너지관리공단, pp15-25., 1996
- [3] 조성권, "효율적 조명기술 연구 보고(II)", 한국동력자원연구소, pp.44-51, 1989
- [4] 에너지자원기술개발지원센터 전기에너지과, "향후 조명기술의 연구개발 방향", 고효율 조명기기 기술개발 성과발표집, 통산산업부/에너지관리공단, pp47-63., 1996
- [5] W.Elenbaas, "Fluorescent Lamps", Philips Technical Library, pp.222-244, 1971
- [6] 변재영, "고효율 고크율 Neon Transformer 研究開發에 관한 최종보고서", 산업자원부, pp.26-36, 1998
- [7] 이진우 교수, "자기식안정기와 전자식안정기의 특성비교분석", 형광등기구 및 안정기세미나, EASK, pp.77-108, 1998
- [8] 노재엽, 이진우 "관의 형태에 따른 형광램프의 특성 변화", 조명전기설비학회, Vol.14, pp.1-5, 2000
- [9] 최명호, 임성훈, 한병성, "70W 메탈할라이드용 전자식 안정기의 설계", 조명전기설비학회, Vol.13, pp.7-16, 1999