

고효율의 형광램프용 자기식 안정기의 개발

(Development of a High-Efficient Magnetic Ballast for Fluorescent lamps)

남택주*·김희식**

(Taek-Ju Nam · Hie-Sik Kim)

요 약

새로운 형태의 자기식 형광등 안정기를 설계 개발하여 고효율화 성능시험을 수행하였다. 새로운 철심재료인 고성능의 G-9 재료를 사용하고, 철심구조와 모양을 개선하였고 코일의 동선을 짧고 굵은 것으로 대체하여 직류저항 성분을 줄여서 안정기 자체의 에너지 손실을 감소시켰다. 반도체형 점등회로를 대폭 개선하여 순간 점등을 가능하게 하고 형광램프의 사용수명연장, 화재 방지 등을 할 수 있게 하였다. 안정기 자체의 에너지 감소가 1.7Watt, 형광등 조명광 향상이 7.6[%] 증가 등 큰 에너지 절약을 보였다. 본 연구결과는 형광등 안정기의 기술 향상과 국가 전력소비 절감효과 등 중요한 의미가 있다.

Abstract

A new magnetic ballast was designed and developed to get high luminous efficiency. The core material of new magnetic ballast was G-9 and its shape of core is modified. The diameter of the coil was upgraded to 0.5(mm), and a new power-saving circuit was designed for the semiconductor ignition starter. The experimental results of the ballast showed reduction of the electric loss in the magnetic ballast about 1.7Watt (0.5(%)). The luminous efficiency was increased by 6.2 lm/Watt (7.6(%)) and the ballast efficiency factor(BEF) of 1.09(7.6(%)). The prototype was tested through national standard testing procedure. A high efficient energy-using equipment (the second grade in the efficiency of energy consumption) was certified. The saving power of 1.7[W] was shown by lighting apparatus for fluorescent lamps. The result will be used for the high efficient magnetic ballast technology.

1. 서 론

조명용 에너지는 자연조명보다는 대부분 전등조명

*정회원 : 중소기업청 국립기술품질원 공업연구원

**정회원 : 서울시립대학교 제어측정공학과 교수

접수일자 : 1998. 3. 27

으로 많은 전기 에너지를 소비하고 있다. 우리나라에서의 조명용 전력소비는 총 전력소비량의 18[%] 수준으로 선진국의 20[%]와 비슷하다. 특히 경제성장을 상회하는 전력소비 증가가 문제화되면서 조명 부문에서의 에너지 절약을 위한 연구가 절실하다.

고효율 광원개발과 대용량 램프의 수요에 따라 형

● 고효율의 형광램프용 자기식 안정기의 개발

광등과 같은 방전등이 많이 사용되고 있다. 방전현상을 이용해서 전기에너지를 광으로 변환하는 광원은 램프 점등시에 나타나는 부저항특성 때문에 반드시 점등회로를 필요로 한다. 안정기란 이 방전램프의 점등회로를 말한다. 안정기의 성능개선을 위해 많은 연구가 진행되어 왔다.

안정기 종류 중에서 자기식 안정기의 장점은 그 부품이 규소강판과 동선만의 사용으로 간단하면서도 견고하며, 내구성과 신뢰성이 매우 높아 지금까지 애용해 오고 있으나, 반면 전력소비가 많고 효율이 낮은 것이 문제점이었다.

본 연구에서는 이러한 기존의 자기식 안정기의 문제점을 해결한 자기식 안정기의 고효율 즉 저손실화를 위한 연구 내용이다.

안정기의 역할과 전기적인 특성, 형광램프의 점등 특성 등에 대한 자료분석을 하고, 또한 시판되고 있는 일부의 자기식 및 전자식안정기의 주요 특성의 비교분석을 통하여 안정기의 실태를 파악하였다.

기존의 자기식 안정기에 대한 현황을 분석하여 문제점을 도출하고 그 해결 방안을 고찰하였다.

자기식 안정기의 새로운 설계를 통하여 형광 램프의 고효율화 성능을 실험하였다. 이를 위하여 사용하고 있는 재료인 코어 재질, 코일 및 회로 개선 등으로 자기식 안정기의 손실을 줄일 수 있는 이론적인 계산방법을 제시하였다.

이에 따라 설계 제작된 안정기가 기존 자기식 안정기보다 효율이 향상되고 손실의 감소 특성에 대하여 실험적으로 증명하였다.

2. 고효율 자기식 안정기의 설계 방법

2.1 안정기의 기본 설계사양

안정기의 기본 설계조건은 램프의 특성에 적합하여 램프의 시동전압, 램프전압, 램프전류에 정합되어야 한다. 또한 램프의 시동, 효율 및 수명을 정격기준으로 유지해야 한다.

본 논문에서 안정기의 전기적 특성실험은 주로 표 1 및 표2에 있는 국내 금호전기 등 3개업체 및 외국의 Sylvania사에서 보급하고 있는 램프 특성을 기준

으로 하였다.

표 1. 형광램프의 특성

(래피드스타트형, 26[mm] 32[W]형)

Table 1. Characteristics of Fluorescent lamp(Rapid starter type)

램프의 정격전력[W]	32
광효율[lm/W]	90.6
램프 전류[A]	265
램프 전압[V]	137
램프 수명[hrs]	20,000

표 2. 안정기의 특성

(반도체스타트형, 26[mm] 32[W]형)

Table 2. Characteristics of Magnetic Ballast(semiconductor ignition starter type)

정격2차전압[V]	300
초기시동전압[V]	290
기준 전류[A]	0.265
임피던스[Ω]	910
음극가열전압[V]	3.4~4.5
역률	0.075
과고율	1.7 이하

따라서 관경 26[mm] 32[W] 형광램프용 자기식 안정기의 주요 특성은 표 3에서와 같이 정격 2차전압은 300[V], 시동전압은 290[V], 램프전류는 265 [mA], 등으로 규정되어 있다. 그의 특성은 KSC 8102 규격에도 적합하여야 한다.

2.2 고효율 자기식 안정기의 설계 규격

본 연구의 대상은 래피드스타트식 안정기 32[W]용이다. 기존에 제조 판매되는 국내 안정기중에서 가장 효율적인 안정기를 설계한다. 램프의 특성에 적합한 다음과 같은 특성 규격에 따라 설계하였다.

2.3 인덕터 기본 설계사양

인덕터는 만들고자 하는 인덕턴스의 크기, 인가되는 전압의 크기, 인가전압의 주파수, 철심 코어에 흐르는 자속밀도를 고려하여 설계해야 한다.

표 3. 자기식 안정기의 설계 규격
(반도체스타터식, 26[mm] 32[w])

Table 3. A Specification of Design for Magnetic Ballast(semiconductor ignition starter type)

항 목	설 계 규 격	참 고 사 항
예열시간 [sec]	0.75~1.6이내	양호한 시동상태에서 측정된 값들의 평균치
입력전력 [W] 전류[A]	32 0.1455 - j 0.0478	형광등의 출력 30[W] 기준
출력전력 [W]	30	2[W] 손실 가정
출력전류 [A]	0.265	역률은 가정하지 않음
공진용량 [μf]	C=2.8	실제 3.0[μf]일때의 용량 감퇴 현상을 고려함
코일직경 [mm]	φ=0.50	실험에 의한 변경가능함
코 어	G-9	Posco생산제품

즉 철심이 자기포화를 일으키지 않는 최대의 자속을 결정하고, 주어지는 철심의 부피 내에서 최고의 인덕턴스 값을 나타내는 곳에서 코어와 인덕턴스의 크기를 결정해서 설계한다.

2.4 인덕턴 상세 설계 방법

제 1단계는 철심에 인가되는 입력의 피상전력 (Pi)의 계산하는 것으로 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$P_i = V \times I \tag{1}$$

이때 V는 인가 전압을 나타내며 I는 인가 전류이다.

제 2단계는 적층면적 A_p 와 피상전력 ($P_i = V \times I$)의 관계성을 계산한다. A_w 가 코어의 창 넓이, A_c 는 코어의 단면적, k_f 가 전류밀도 계수일때 그 관계는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$A_p = A_w \times A_c = \{V \times I \times 10^4 / (4.44 \times B_m \times f \times k_u \times k_j)\}^{1/4} \tag{2}$$

f는 주파수, B_m 은 최대자속밀도이고, k_u 는 창에 대한 권선이 차지하는 비율이다 적층코어의 경우 $k_u = 366 : 25[^\circ\text{C}]$, $k_j = 534 : 50[^\circ\text{C}]$ 이다.

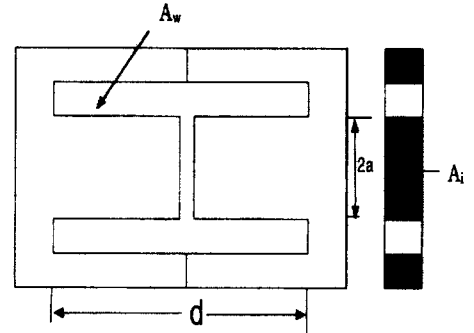


그림 1. 코어의 형태
Fig. 1. Type of Core

입력측의 피상전력은 창의 면적과 적층의 크기에 의하여 결정된다.

제 3단계는 코어에 감는 권선수 N을 계산한다. $I_g = 0$ 인 경우 Faraday법칙을 이용한다.

$$N = \{V \times 10^{-4} / (4.44 \times B_m \times f \times A_c)\} \tag{3}$$

제 4단계는 철심의 인덕턴스와 코어에 존재하는 공극의 연관성을 구하는 것으로 식 (4)로 구할 수 있다.

$$L = \{0.4 \times \pi \times N^2 \times A_c \times 10^{-8}\} / (L_g + (L_m / \mu)) \tag{4}$$

이때 N은 권선수, L_g 는 공극의 길이, L_m 은 평균 자로의 길이를 나타내며, μ 은 비 투자율인데 4[%] 규소 강판인 경우 μ 는 7,000이다. 이러한 인덕턴스 L과 L_g 의 관계식에서 강자성체에서의 μ 값은 매우 큰 값을 가지므로 L_m / L_g 는 공극의 길이에 비해 매우 작은 값이므로 생략해도 무방하다.

제 5단계는 Fringing Flux Factor값에 의한 L의 교정단계이다. 인덕턴스의 값은 권선수의 제곱, 철심의 단면적, 공극의 길이에 비례하여 철심내에 공극

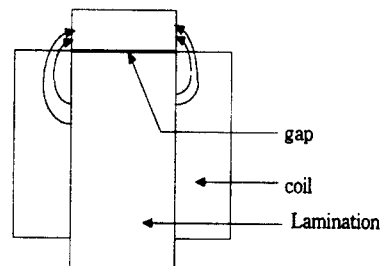


그림 2. 공극의 존재와 Fringing Flux
Fig. 2. Air Gap and Fringing Flux

● 고효율의 형광램프용 자기식 안정기의 개발

이 존재하면 이 사이에는 Fringing Flux가 발생하게 된다.

이런 Fringing Flux의 발생으로 인해서 공극의 길이가 실제 길이보다 짧아지는 듯한 효과를 나타내고, 또한 이것은 공극 사이에 존재하는 자기저항 성분이 감소된다는 것을 의미한다.

이때 존재하는 Fringing Flux 성분 가운데 적층된 후의 Factor값은 식 (5)로 구할 수 있다.

$$F = 1 + (L_g / \sqrt{A_i}) \log_e(2d/L_g) \quad (5)$$

이 때 d는 창넓이의 길이이고, 결과적으로 공극 사이에 존재하는 Fringing Flux에 의해서 실제적인 인덕턴스의 값은 이론적인 인덕턴스 값보다 증가하게 된다. Fringing Flux Factor F에 의해서 증가되는 L의 값은 식 (6)과 같다.

$$L' = (0.4 \times \pi \times N^2 \times A_c \times f \times 10^{-8}) / L_g \quad (6)$$

제 6단계는 인덕터에 존재하는 손실값을 계산한다. 먼저 동손 P_{cu} 는 권선에 의해서 발생하는 손실 부분으로 식 (7)과 같다.

$$P_{cu} = I^2 R \quad (7)$$

철손 P_f 는 코아의 재질에 따른 손실량이며 공극이 존재함으로써 발생하는 손실량 P_g 는 다음과 같다.

$$P_g = k_i \times D \times L_g \times f \times B_m^2 \quad (8)$$

식 (8)에서 D는 Strip or Tongue width를 나타내고, k_i 는 Gap Loss Coefficient를 나타낸다.

인덕턴스의 효율이 최대일 때는 $P_{cu} = P_f$ 이고, 공극손 $P_g = 0$ 인 경우이다.

2.3 인덕터 설계를 위한 계산

FLR 220[V] 32SS 1등용, 반도체스타터식 설계 규격은 다음과 같다. 철심코어에 인가되는 입력의 피상전력 P_i 를 구해보면 식 (8)과 같다.

$$P_i = V(\text{인가전압}) \times I(\text{인가전류}) \\ = 220 \times 0.265 = 58.3[\text{VA}] \quad (8)$$

적층 면적(A_p : Area Product)은 식 (2)에 의해 다음과 같이 계산된다. 단, $B_m = 1.2[\text{T}]$, $f = 60[\text{Hz}]$, $ku = 0.4$, $k_j = 366$ 으로 가정하였다.

$$A_p = \left\{ \frac{V \times I \times 10^4}{4.44 \times B_m \times f \times k_u \times k_j} \right\}^{1.14} \\ = \left\{ \frac{58.3 \times 10^4}{4.44 \times 1.2 \times 60 \times 0.4 \times 366} \right\}^{1.14} \\ = 17.7[\text{cm}^2]$$

다음으로 Faraday's Law를 이용하여 권선 수를 계산해보면 다음과 같다. 단 A_i 는 $4.45(1.8 \times 24.7)$ 로 가정하였다.

$$N = \frac{E \times 10^4}{4.44 \times B_m \times f \times A_c} \\ = \frac{220 \times 10^4}{4.44 \times 1.2 \times 60 \times 4.45} \\ = 1,546[\text{turn}]$$

대상 형광램프의 램프전압은 146[V]이고 -시험용 안정기 사용시 측정 램프전압은 140[V] -램프전류는 0.235[A] -시험용 안정기 사용시 측정 램프전류 0.245[A]의 96[%] 적용 - 이므로 임피던스를 계산해 보면 다음과 같다.

$$X_i = \frac{V}{I} = \frac{146}{0.235} \\ = 621[\Omega]$$

또한 인덕턴스 역시 임피던스를 이용하여 쉽게 계산할 수 있다.

$$L = \frac{X_i}{2\pi f} = \frac{621}{6.28 \times 60} \\ = 1.667[\text{H}]$$

인덕턴스가 구해지면 공극 L_g 를 결정할 수 있다.

$$L_g = \frac{0.04\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{L} \\ = \frac{0.04\pi(1546)^2 \times 4.45 \times 10^{-8}}{1.667} \\ = 0.080[\text{cm}]$$

공극을 1(mm)이하로 하였을 경우 턴수를 1,546 [Turn]으로 줄일 수 있다. 따라서 코어의 크기를 줄일 수 있으며, 권선의 턴수의 감소로 인한 동손의 양을 줄일 수 있고, 공극의 효과를 적절히 이용함으로써 적층면적을 줄일 수 있는 장점이 있다.

다음으로는 전류밀도와 전력손실을 구해야 하는데 전류밀도는 다음과 같다.

$$J = k_j \times A_p^{-0.12}$$

$$= 366 \times 17.7^{-0.12} = 259$$

권선에 의해서 발생하는 손실 P_{cu} 와 코어 코어의 재질에 따른 손실량 P_{fe} 는 다음과 같다.

$$P_{fe} = 1.67 \times 0.58 = 0.96 [W]$$

$$P_{cu} = I^2 R = 0.235^2 \times 15.8 = 0.87 [W]$$

k_i (Strip or Tongue width)는 0.155, D (Gap Loss Coefficient)를 2.22라고 하면 공극손실은 다음과 같다.

$$P_g = k_i \times D \times L_g \times B_m^2$$

$$= 0.155 \times 2.22 \times 0.080 \times 1.2^2$$

$$= 0.04 [W]$$

따라서 총손실은 다음과 같다.

$$\text{Total Loss} = P_{cu} + P_{fe} + P_g$$

$$= 0.87 + 0.96 + 0.04$$

$$= 1.87 [W]$$

3. 고효율 안정기의 특성

3.1 점동 회로도 및 동작원리

그림 3에서 보는 바와 같이 전원(AC) 양단에 정격전압을 인가하면 전류는 안정기 인덕터(L)을 거쳐 형광램프 양단 필라멘트(H1, H2)를 거쳐 반도체 스타터의 제너다이오드(D1)를 통과하여 콘덴서(C1)에 충전된다. 제너다이오드(D1) 전압이 형성되면 콘덴서(C1) 충전전류는 트랜지스터(TR)로 방전된다. 이 전류는 저항(R7)으로 전가되어 사이리스터(SR1)를 트리거시키고 다이오드(D3)를 통과한 직류성분이 도통된다. 그리고 직류에 의해 정지되었

던 사이리스터(SR2)에 콘덴서(C3)를 통하여 전류가 흐르며, 형광램프 음극에 예열전압을 약 0.85 [초]동안 공급하면서 사이리스터(SR1, SR2)의 교류 단속 스위칭 펄스를 연속 발생하면서 형광램프의 양단전압을 서서히 상승시켜 형광램프의 방전개시전압에 이르러 음극 예열전압을 차단함으로써 시동을 개시한다.

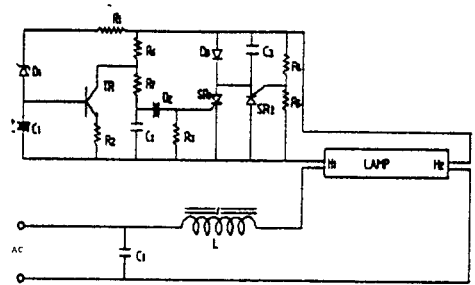


그림 3. 고효율 자기식 안정기의 점동 회로도
Fig. 3. The Circuit Diagram of the Semiconductor Ignition Starter

본 회로에는 시동타이머(D1, C1, TR, R2)를 내장시켜 약 0.85[초] 동안 교류단속 스위칭 펄스를 약 4[회] 연속 발생시키고 미점등되면 교류단속 스위치가 정지되어 흑화 등 램프 수명말기시에 일어나는 반도체 부품소손 등을 보호하고, 1[초] 이내의 순간 점등으로 램프 수명이 길어지며 안정기의 과열현상을 효과적으로 방지하고 약간의 절전효과를 가져오는 요인이 된다.

3.2 고효율 안정기 코어의 형상

코어간 결합되는 결합부를 양쪽 2개부분으로 설계하고 이를 요철형으로 개량하여 이에 따른 철손을 극소화시켰다. 본 연구용 시작품 안정기의 철심의 형상을 아래 그림 4에 나타낸다.

3.3 자체 온도상승이 감소

개발한 고효율 안정기의 철심 및 동선에서 발열되는 열에 의한 안정기 자체 온도상승이 극히 낮아서 고신뢰성이 입증되었다. 기존안정기에 비해 권회수가 적게 설계되었고, 기존의 자기분리가 없어 권선의 창면적이 넓어짐으로 동손을 줄일 수 있는 동선의 선경을 크게 할 수 있다. 이에 따른 동손 및 철손

● 고효율의 형광램프용 자기식 안정기의 개발

이 극소화 됨에 따라 자체온도상승이 적어 안정성이 높고 제품에 대한 수명 연장등의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.



그림 4. 고효율 자기식안정기의 코어 형상
Fig. 4. The Core Shape of the Magnetic Ballast with High Efficiency.

4. 효율 실험 결과

4.1 실험조건

코어의 재질을 규소강판 G-11에서 G-9코어로, 시동방식을 글로우스타터식에서 반도체스타터식으로, 코일의 굵기를 0.40~0.45[mm]에서 0.50[mm]로 개선하여 기존의 안정기와 실험용 안정기에 대하여 동일한 형광램프를 정상적으로 점등한 후 비교 실험하였다. 실험결과에 대한 주요 조사항목은 입력전력, 전광속, 광효율, 비교효율을 위주로 하였다.

4.2 측정조건

측정시 주위온도는 25 ± 1 [$^{\circ}\text{C}$]로 하였으며, 시험용 전원은 주파수 60[Hz]의 정현파에 가까운 교류로 하고, 전압변동은 ± 1 [[%]] 이내의 AC 전원공급장치를 사용하였다. 전압, 전류 및 전력의 측정에 사용되는 계측기는 KSC 1303(지시전기계기)에 규정한 0.5급 이상의 계기 또는 이와 동등 이상의 정밀도를 가진 전력분석기 및 디지털 멀티미터를 사용하였으며, 전광속(광출력)의 측정에는 구형광속계를 사용하였다.

4.3 실험에 사용한 측정 설비

본 실험에서 광속, 전류, 전압, 역율, 온도 등 여러 가지 측정에 사용된 설비는 표 5에 있다.

표 5. 실험에 사용한 측정 설비

Table 5. Test Equipment for Measuring

설비명	규격모델명	제조국 또는 제조회사
① Luminous Flux Standard Lamp	1104[Im] 1.120[A]	NPL (영국)
② 구형광속계	1.5 [m]	동아전기 (일본)
③ 전력분석기	10~600[Vrms] 1~100[Arms] *D6100	NORMA (오스트리아)
④ 광전류계	10[pA] *487	KEITHLEY (미국)
⑤ 시험용안정기	FLR 32[W]	(주)제일조명 (한국)
⑥ 멀티미터	*8842A	John Fluke MFG Co.(미국)
⑦ AC전원공급장치	1 ϕ 220[V] 5[kVA] *Escort 1000	아세아전기공업 (한국)
⑧ DC Power Supply	0~60[V] 0~15[A] *6274B	Hewlett-Packard (미국)

표 6. 연구 개발품과 시판품의 전기적 특성 비교

Table 6. A Comparison of Electrical Characteristics between Developed product and Commercial product

구분	단위	연구용 시작품		시판품	
		시료 1	시료 2	시료1	시료2
램프전류	A	0.248	0.244	0.269	0.270
광출력	lm	2801	2739	2693	2710
입력전류	A	0.151	0.148	0.156	0.158
입력전력	W	32.1	31.3	33.2	33.4
역율	—	0.966	0.961	0.967	0.960
정상온도상승	$^{\circ}\text{C}$	7	8	9	8
이상온도상승	$^{\circ}\text{C}$	10	11	23	21
광효율	lm/W	87.25	87.50	81.11	81.13
비교효율*	—	1.096	1.099	1.018	1.019
반제품의 중량	g	860		1,020	

4.4 실험결과

실험용 안정기와 기존의 안정기에 대한 입력전력, 전광속, 광효율, 비교효율 등을 조사한 결과는 표 6 과 같다.

아래에서 비교효율(BEF)계산에서 표준은 입력전력 35.7[W], 전광속 2842[lm]으로 광효율이 79.60 [lm/W]인 시험용 표준안정기와 비교한 효율이다.

비교효율(BEF)=(실험용 안정기의 광효율)/(표준 안정기의 광효율) 이다.

실험에서 사용한 시험장치의 개략적인 블록 구조는 다음 그림과 같다.

본 연구에서 개발한 안정기의 주요 설계 특성 및 효과는 표 7에 있다.

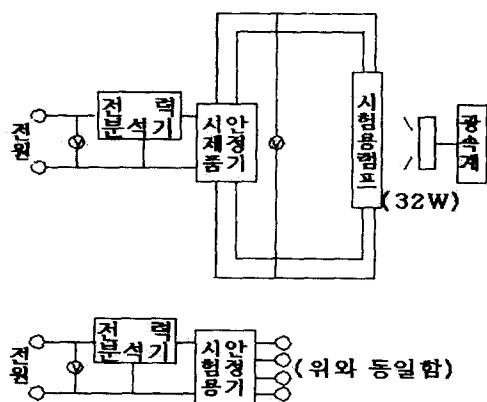


그림 5. 안정기의 특성 실험에서의 회로 구성
Fig. 5. The Block Diagram of Ballast Test System

표 7. 실험용 안정기의 주요 개선 내용
Table 7. Improved Content of Magnetic Ballast

주요 항목	기존안정기 대비 실험용 안정기의 개선 내용
① 소비전력 (입력전력)	33.4 → 31.7[W] (5[%] 감소)
② 광효율	81.08 → 87.24[lm/W] (7.6[%] 증가)
③ 비교효율	1.02 → 1.09 (7.6[%] 증가)
④ 반제품의 중량	1016 → 858[g] (15.5[%] 감소)

5.결 론

성능이 향상된 고효율 자기식 안정기를 새로 개발하였다. 반도체 스타터식 점등회로와 철심과 동선구조를 고효율을 목표로 설계하였다. 약 1.7[W]의 전력 절감을 통하여 비교효율을 1.09이상으로 향상시킬 수 있었다. 연구 결과는 정부 공인 검정시험에서 “조명기기의 고효율 에너지 기자재 인증” 2등급수준을 승인받았다. 기존 안정기들의 3등급 수준에 비하여 효율이 입증된 것이다.

또한 이론적인 고효율의 안정기 설계이론을 제시하였다. 제시한 설계 계산 결과와 실제 실험결과와 유사함을 알 수 있었다. 고효율화를 위하여 철심의 새로운 설계구조와 코일의 선 굵기와 권선을 제시하였다. 코일 동선의 굵기를 0.50[mm]로 굵게 하고 턴수를 적게 함으로써 코일의 중량 및 권선수 감소로 동손을 감소시킬 수 있었다. 전체적인 전력을 5[%] 이상 절감하고, 광효율 및 비교효율을 7.6[%] 이상의 향상 및 제품의 경량화 결과를 얻었다.

결과의 고효율 향상은 권선에 의해서 발생하는 손실과 코어의 재질에서 발생하는 손실을 감소시켰고, 시동방식을 반도체 스타터형을 채용하여 전력절감의 근본이 되었다. 그러나, 시동회로에 사용되는 전자부품들이 신뢰성에 따라 램프 수명의 단축원인이 될 수도 있으므로 전자부품들의 특성 변화 등에 대한 추후 보완 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 池哲根, “最近 照明工學”, 문운당, 1986.
- [2] 이진우, ESAK, “磁氣式安定器와 電子式安定器의 特性 比較分析”, 1997.
- [3] 姜鎬先 外, NITQ, “照明機器 品質管理 向上을 爲한 試驗設備 確保 및 整合性 檢討”, 1996.
- [4] 池哲根 外, 韓國電力公社, “節電形 螢光 램프 및 安定器 製造技術 開發”, 1994.
- [5] 月刊電氣, “電氣設備에서의 新素材”, 통권 제109호, 1997.
- [6] 韓國照明電氣設備學會, “螢光燈 特性 分析과 使用 實態에 關한 研究”, VOL.2, NO.3, 1988.
- [7] 韓國照明電氣設備學會, “螢光램프用 磁氣 回路式 安定器의 特性評價研究”, 1993.
- [8] 韓國照明電氣設備學會, “照明設備의 에너지 節約技術”,

● 고희을의 형광램프용 자기식 안정기의 개발

- 1997.
- [9] KIET, "最近 放電燈安定器의 技術現況", 技術情報시리즈 제1호, 1986.
 - [10] ANSI C78, "32W T8 Fluorescent Lamps".
 - [11] Illuminating Engineering Society of North America, "IES Lighting Hand Book", 1981.
 - [12] IEC 921·929, "Ballast for tubular Fluorescent Lamps".
 - [13] KSC 8102, "형광램프용 자기식안정 기", 한국표준협회, 1996.
 - [14] KSC 7601, "형광램프(일반조명용)", 한국표준협회, 1996.
 - [15] The Illuminating Engineering Institute of Japan, "Lighting Hand Book", 1984.
 - [16] Colonel Wm.T.McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook", Marcel Dekker Inc., 1978.

◇ 著者紹介 ◇



남택주(南澤珠)

1959년 12월 27일생. 1982년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1998년 서울시립대학교 산업대학원 석사과정. 1986년~ 1996년 공업진흥청 국립공업기술원. 1996년~현재 중소기업청 국립기술품질원 공업연구원.



김희식(金禧植)

1953년 3월 28일생. 1977년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 1979년 한국과학원 생산공학과 졸업(석사). 1987년 독일 Stuttgart대학교 졸업(박사). 1987년~1989년 한국과학기술원 선임연구원. 1989년~현재 서울시립대학교 제어계측공학과 교수.