The Developed Study for SMPS to Protect the Noise and Inrush Current at LED Lighting Source

LED 광원에서 잡음 및 돌입전류 방지를 위한 스위칭모드 전원공급 장치 (SMPS) 개발 연구

Chansoo Chung*, Gyujang Hong**†, Sungbok We***, Geonsu Yu****, Mijin Kim*****
정찬수*, 홍규장**†, 위성복***, 유건수****, 김미진*****

* *Professor, Institute of Technology, Electric-Dept. Soong Sil Univeristy*
** *Saytel communication Co., Ltd. #1410 Acehighend-Tower 8, 84 Gasan Gu Geumcheon-gu, Seoul, Korea*
*** *LH, Smart City pproject Department. 19 Chungui-ro Jinju-Si Gyeongsangnam-do, Korea. General Manager*
**** *Kangwon Land, IT OPeration Team, 55 Gohan-eup Jeongdeon-gun, Gangwon-Do, Korea. General Manager*
***** *Incon Co., #7 Mario Tower, 28 Digital-ro 30-gil, Guro-gu. Seoul, Korea. Manager*
† *gyujang@gmail.com*

Abstract

This Study focused on the development of SMPS (Switching Mode Power Supply) to supply the constant votage and current nevertheless LED fluorescent Light generated the electric noise (with Harmonics) and Inrush current at instant time of turn-on and off. Recently, according to the Green policy in government, the LED fluorescent Lighter showed the rapidly increasing tend as indoor and outdoor Lighter. But, because of costs, LED fluorescent Light not considered and neglected the following items; power factor, efficiency, Harmonics and Inrush current. So, we are developed the SMPS about 3 key issues as follows: 1st, power factor and efficiency is 85%. 2nd, the switching noisy by harmonic is minimized. 3rd, the Inrush current at turn on and off time is reduced the minimum 0.3 A after 100 μsec on turnon time. The proposed SMPS adjusted by LNK 409 driver (included the high frequency modulation function). Although, the developed SMPS maintained the about 85% of power factor and efficiency. but, the SMPS must be generated low heat by the variation of minute load current at switching timing. To improve the above weak point, the developed SMPS have the feedback monitoring circuit between input side and output side to maintain the power factor and efficiency. Also, we are studied the time-constant of control circuit to output the constant voltage and current nevertheless the load disturbance of LED lighting. The LED fluorescent Light of 46W is checked the above items.

최근 급속한 녹색환경 정책으로 LED를 이용한 조명 광원들이 설치 운용하고 있으나, 이들 광원의 전원 공급은 안정된 직류 전원 공급을 위해서 스위칭 모드 전원 공급(SMPS) 장치로 전원을 공급하고 있다. 그러나, 이들 전원 공급 장치는 공급 단가 때문에 설계 및 설치과정에서 스위칭에 따른 전력과 변환역률, 전기적 노이즈 및 돌입전류들은 간과하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 SMPS는 고품질의 전원을 LED 조명 부하에 공급하기 위하여 스위칭 시에 다음과 같은 3가지 관점에서 회로를 연구하였다. 첫 번째, 역률과 효율을 약 85% 확보하고, 두 번째, 노이즈(고조파 포함) 최소화, 세 번째는 스위치-온 시 3A 돌입전류를 100 μsec 후 최소 0.3 A로 감소하여 돌입 전류 침입을 최소화 하고자 하였다. 본 연구에서는 IC형 구동기(LNK 409)를 적용하여 입력전압과 출력상황을 귀환 형태로 감시하도록 하였으며, 정전류 출력을 위하여 정전압을 유지할 수 있는 제어회로와 시상수를 개발하였다. 그러나, 부하 변동 시 미세한 전류의 불규칙으로 인한 발열 문제는 해결하지 못하고 있다. 이를 증명하고자 LED 조명 부하 46 W급을 대상으로 효과를 검증하였다.

Keywords: Switching Mode Power Supply, Noisy, Harmonic, Power Factor, Inrush Current, LED

Ⅰ. 서 론

조명 시장에서 LED 광원은 광전환 효율 90%, 10만 시간 이상 장수명 등의 특징과 정부의 Green 에너지정책으로 유통업체, 대형 사업장 및 공공부문에서 기존 조명의 대체품으로 교체가 이루어지고 있으며, 일본의 경우도 NTT 동일본 본부도 환경 부하 저감 일환으로서 LED 조명을 도입하고 있다 [1][2].

LED를 이용한 광원은 직류화를 위하여 SMPS (Switching Mode Power Supply; SMPS)를 내장하게 되고 부하인 LED에 공급하는 구조로 이루어지고 있다.

SMPS의 1차측 입력 전압은 110 V 및 220 V로 각각 ±15% 변동을 고려하여 110 V경우에는 95~125 V, 220 V 경우는 185~235 V의 범위를 동작 영역으로 가정하고 있

Manuscript received October 26, 2016, revised December 14, 2016, accepted December 16, 2016
ISSN 2465-8111(Print), 2466-0124(Online), DOI http://dx.doi.org/10.18770/KEPCO.2016.02.04.577
This paper is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. This paper is available online at http://journal.kepco.co.kr

다. 또한, 110 V/220 V 겸용 시에는 85~265 V의 범위를 SMPS 1차측 공급 범위로 정하고 있다. 그러나, SMPS는 입력 최저 값인 인 95 V 또는 85 V에서도 조명으로서 충분하게 출력을 발생하여야 하므로 통상 이 범위를 입력의 최저값으로 기준하고 있다. SMPS 2차측 출력 조건은 Smart Power IC적용으로 주변 회로의 단순화와 스위칭의 고속화가 이루어지고 있지만, 공통적으로 효율성, 전자파 및 고조파 등의 문제 해결하는 과장과 함께 SMPS장치의 크기를 줄이고 있는 추세를 보이고 있다.

제조 단가등으로 SMPS는 부하단에 일정한 전압을 유지 시켜주는 방식이 주로 제작되지만 이런 방식은 입력 측의 알 수 없는 변이와 부하전류 변이가 발생하는 경우 등 알 수 없는 현장 여건 때문에 일정 출력 유지가 요구되는 LED 전원공급용으로는 적합하지 않은 경우가 많다 [3][4].

이러한 문제점을 개선하고자 본 연구에서는 패키지화되어 있는 Smart Power IC를 이용하여 IC와 변압기를 중심으로 전원측인 1차측 입력과 부하 측인 2차측 출력 전압과 전류를 동시에 IC로 귀환시키는 방식으로 순간적인 정전과 부하 전류 변환에도 정전압과 정전류 출력이 이루어지도록 LNK 409EG 모델을 사용한 SMPS를 개발하고자 한다 [5].

여러 유사한 스위칭 소자들이 있으나, PI사 LNK 409EG 모델은 자체적으로 대기전력에 대한 대책과 EMI/EMC와 고효율을 유지할 수 있는 기능을 내장한 장점이 있고 발진 주파수가 66 kHz로 LNK 계열에서 가장 높은 발진 주파수를 가지고 있는 것이 특징이지만 고속 스위칭에 따른 보완 회로와 변압기에 누설 임피이던스 등을 해결하여야 하는 전기 회로적 난제들이 있지만, SMPS 함체 규격상 조건과 최대 90 W 출력과 부하에 여유율로 약 20%를 확보할 수 있는 장점을 가지고 있어서 채택하였다 [6].

특히, 본 연구개발 모델은 NTT 동일본 본부의 요구사항을 충족하도록 개발하는 조건으로 SMPS의 크기 규격을 50(W) × 30(H)× 300(D) mm로 회로의 단순함과 변압기 규격의 소형화 구현하여야 하고 어떠한 조건에서도 정전압과 정전류 출력을 동시에 만족하여야 한다.

II. SMPS 전원장치 및 개선방향

A. SMPS 개발 개요와 설계 주요점

개발용 SMPS는 출력이 48 W급으로 T8 타입 24 W급 2개를 필요에 따라 동시에 구동할 수 있는 구조로 입력조건은 SMPS의 1차측 90~250 V 단상이며, 2차측은 24 V, 0.8 A로 정전압과 정전류 출력을 보장하며 역률 0.85, 효율 85%를 만족하는 성능과 50(W)×30(H)×300(D) mm 규격에 준하도록 개발한다 [5]. 통상 이론적으로 SMPS의 최소 입력은 Eq. 1과 같이 설정하지만, 본 연구에서는 개발 요구 조건에 맞추어 입력측을 90 V로 선정하여 SMPS 변압기 권선선택과 감시 밑 모든 시상수를 재 설정하였다.

$$V_{min} = 90 \times \sqrt{2} \times 0.85 = 108[V_{ac}] \qquad (1)$$

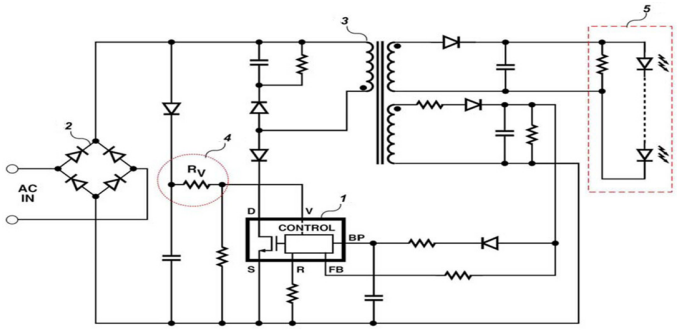


Fig. 1. General SMPS circuit(LNK series).

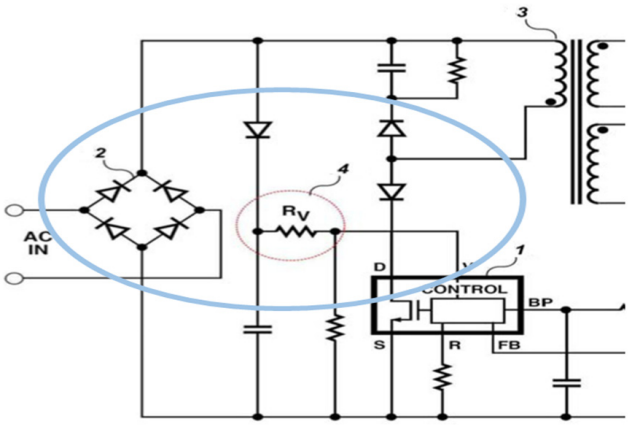


Fig. 2. Input filtering and EMF protecting with SMPS and Outputing Capability time-constant(R_V) Circuit.

여기서 V_{min} : 입력의 최저 값
0.85 : 설계 효율

1) 입력, 출력 기본 회로 구성

1차측 정전류 제어 기능을 갖는 LNK 계열에서 제공하는 회로는 Fig. 1과 같다.

Fig. 2에서 변압기(3)을 기준으로 1차 측은 LED 구동 IC(1)와 브리지 다이오드, 콘덴서, 저항으로 이루어지는 회로가 포함하고 있으며, 특히 R_V(4)는 부하단의 출력 범위를 설정하게 된다. 전파 정류된 입력 값은 1차측의 바이어스와 저항과 컨덴서를 이용한 필터를 통해서 변압기와 구동기로 입력되며, 고속의 스위칭 시에 발생하는 노이즈 및 역기전력을 최소화하기 위한 변압기 코어, 절연과 다이오드 방향을 설정한다. 저항 R_V(4) 출력 성능 설정은 최대 50 W에서 최소 18 W 출력이 가능토록 4 MΩ으로 설정한다 [7].

Fig 3에서 변압기를 기준으로 2차측은 부하 측의 출력과과 부하변동을 감시하기 위한 부분으로 출력 전압과 전류를 감시·귀환하여 구동기의 FB (Feed Back) 핀으로 입력한다. 또한, 출력 측 보조권선은 개방된 부하 상태 또는 과부하 출력을 감시하여 구동기를 보호하도록 부하의 출력을 강제로 차단할 수 있도록 시상수를 결정하여 BP (By-Pass)에 입력한다. 구동기 R핀에 전류는 1차측의 바이어스입력과 2차측 부하단의 출력 전류가 정합되는 구조로 본 연구에서는 출력변동에 따른 부하 입력 전류 변동에서 강인성을 가지고 제어할 수 있도록 연구가 되었다.

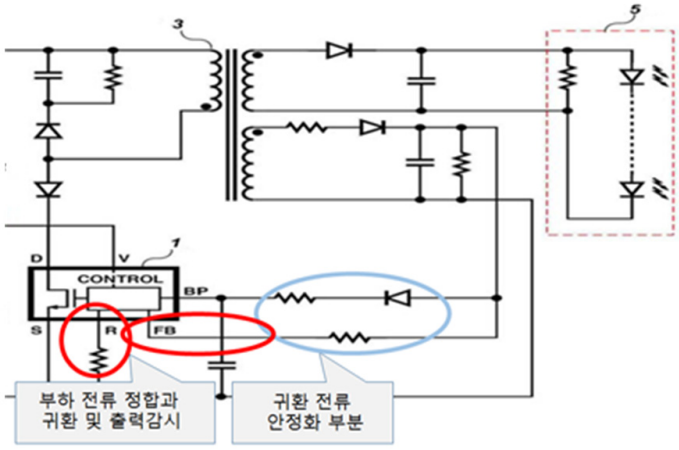


Fig. 3. SMPS Output Monitoring Circuit.

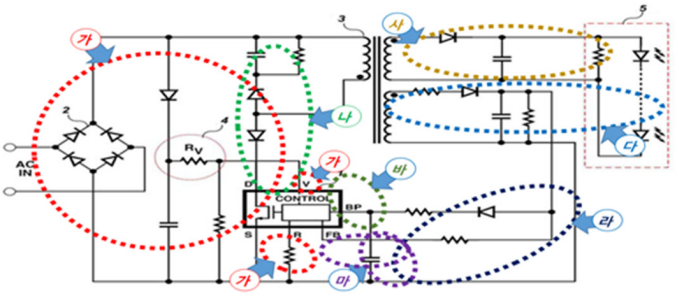


Fig. 4. Constant-voltage/Current Output Drawing Circuit of SMPS.

변압기는 발생하는 누설 임피던스와 역기전력 영향의 최소화를 위하여 권선 선택과 감기 및 절연을 수행하고, 접지는 구동기의 제어회로와 전원 및 출력 측과 완전히 분리하여 출력의 안정화를 추구하였다.

2) 부분별 설계 주요점

a) 입력 측 요소

1차측 입력전압은 AC 90~265 V로 Fig. 4의 ㉮ 저항값으로 정합을 하게 되며 정류되어 입력된 전압의 피크는 콘덴서에 저장과 입력이 바이어스된 상태 정보를 D 핀으로으로 제공하며 하단에 R은 저전압과 과전압 방지를 위한 기준 값을 설정한다. ㉱의 귀환회로는 LED의 출력전류를 감시하는 역할을 수행한다.

b) 변압기(3)에 의한 영향

변압기의 누설 인턱턴스에 의한 불안정한 전압을 안정화하기 위하여 회로 ㉯는 정류된 입력과 클래핑하도록 하며, 역 기전력에 의한 역방향 전류가 구동기에 영향을 미치지 못하도록 한다. 변압기의 코어는 노이즈를 최소할 수 있는 재질로 선정한다.

c) 변압기(3) 보조권선

변압기 보조권선에서 회로 ㉰, ㉱는 1차측의 바이어스와 출력 전압을 동시에 추적하도록 하고 누설 인피턴스에 의한 전압 스파크를 필터링하여 구동기에 입력 전류와 출력의 안정화를 유도한다.

d) 출력 전압 감시

회로 ㉱, ㉲, ㉳부분은 출력 과전압 및 부하 전류 변동에 대한 보호기능을 활용하여 LED 부하가 개방되어 출력 전압이 상승 시 출력 전류를 차단하고 정상화 시 출력이 이루어지도록 한다.

e) 출력 모드 설정

회로 ㉲는 출력모드 설정과 열적 환경에서도 필요한 출력 모드를 유지토록 한다.

f) 정전류 출력

2차측 출력은 권선 비에 대하여 출력 전압이 비례하므로 2차측 권선비로 이 값을 설정한다. 구동 기가 출력전압 범위에서 정전류 출력을 감시하도록 ㉰, ㉱, ㉲, ㉳의 귀환회로를 통한 전류와 입력 측 바이어스시 D 단자 전류 정보가 결합되는 회로로 구성된다.

g) 무부하시 전류 제한

회로 ㉳는 변압기 2차측의 출력 부하에 대한 정류 및 필터링으로 LED가 허용할 수 있는 범위 내에 서 출력전류가 형성되지만, 무부하시나 과부하 시에 회로 ㉰, ㉱, ㉲, ㉳를 통해서 구동기가 출력 전 압을 차단할 수 있도록 한다.

III. 가변 시정수에 의한 정전류 보상 시스템

A. 정전류 보상

개발된 SMPS는 입력되는 교류 전원을 직류 전원으로 변환하는 입력부, 변압기 및 구동기로 이루어져 있으며, 변압기를 중심으로 1차 측은 입력과 바이어스, 필터링을 수행하며 2차측은 출력과 출력 상황감시 으로 구분하여 제어부는 전원 측과 부하 측 전류를 감시하기 위하여 귀환 구조를 형성하였지만 가변 시상수를 통해 불투명한 현장 여건에도 출력부가 정 전압, 전류를 출력할 수 있도록 하였다. 이를 블록도로 구성하면 Fig. 5와 같다.

B. SMPS 트랜스포머 설계

일반적으로 Eq. 2의 AP값은 변압기의 형상을 결정하는데 코어는 페라이트 코어로 EE 22로 선정하 고 단면적은 31×20 mm로 설정되어 있다.

$$\mathrm{AP} = 4.845 \times \frac{P_0}{\sqrt{f_{sw}}} \qquad [cm^4] \tag{2}$$

여기서

AP: 코아의 체적(단면적 A_c와 창면적 W_o 곱)

P_0 : 출력 전력

f_{sw} : 스위칭 주파수

설계한 변압기는 1차측 권선은 반으로 나누어 샌드위치식 배치와 지그재그 감기를 하였다. 변압기를 감는데 사용한 보빈은 6핀이며 각 보빈의 핀 번호이다 (Fig. 6.)

스위칭 시 3차 고조파를 30% 이하, 5차 고조파를

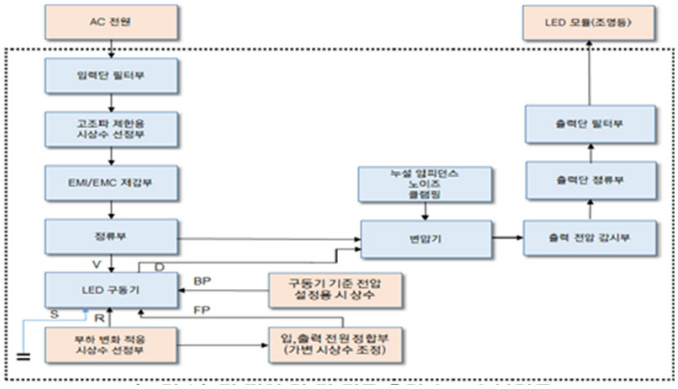
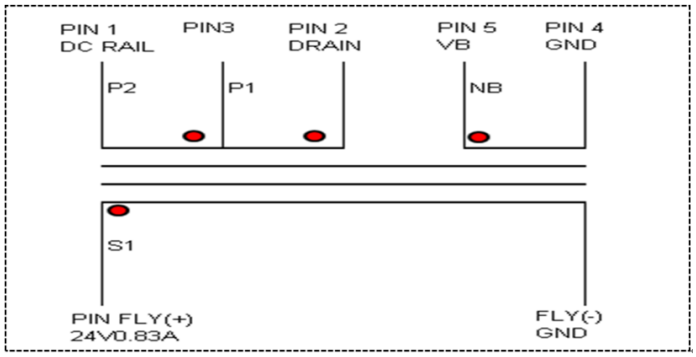


Fig. 5. Block diagram of SMPS to output constant voltage/current.



(a)

W		BARRIER		TERMINAL		WINDING			INSULTION		REMARK
		TOP	PIN	S	F	WIRE	TS	METHOD	P.E TAPE	TS	
1	P1			2	3	0.27	35	SOLENOID	0.025t/9.1(Y)	2	1layer
2	NS			FLY(+)	FLY(-)	0.55	22	SOLENOID	0.025t/9.1(Y)	2	2layer,TIW
3	NB			5	4	0.16X3	19	SOLENOID	0.025t/9.1(Y)	2	
4	P2			3	1	0.27	35	SOLENOID	0.025t/9.1(Y)	2	1layer

LP: 1.7mH at 100KHz
BOBBIN: RM10 6+6 PIN V TYPE

(b)

Fig. 6. Transformer winding and connection Standard. (a) 결선도. (b) Winding 규격 및 1,2차측 턴스.

10% 이하로 제한하도록 하고 변압기의 발열에 따른 효율을 낮추기 위해 물리적으로 SMPS 함체 전체를 방열하는 구조로 설계가 되었고 EMC 방지를 위하여 변압기 층별 절연과 함께 물리적인 대책으로 페인팅도 수행하였다.

C. 가변 시상수를 갖는 정전류 보상 전원부 설계

개발된 SMPS의 회로는 Fig. 7과 같으며 개발된 부분을 회로 ㉮~㉲로 구분하여 다음과 같이 설계하였다.

1) 입력 범위

SMPS에 입력되는 범위를 결정하기 위하여 직,병렬 저항과 와트 저항을 통해서 구동기 V단자에 전류를 공급하고 90~265 V_{AC} 입력 범위에서 동작토록 한다. 특히, 구동기와 변압기 1차측의 바이어스 라인 입력의 과전압과 저전압 기준 값을 설정한 회로와 돌입 전류 방지 회로 및 2차 과정의 필터 회로가 전원 측에 설계되어 있지만 본 논문에서는 논외로 한다.

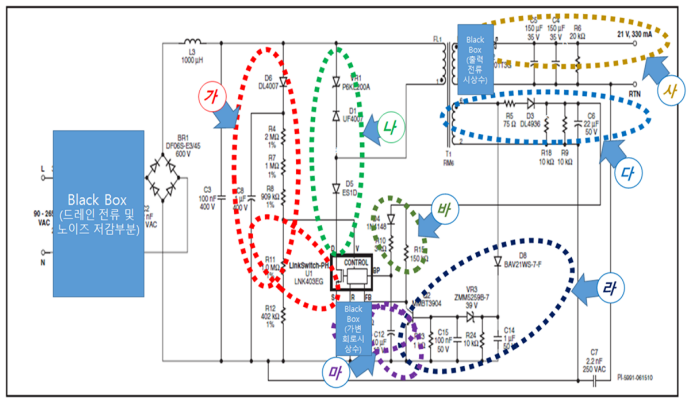


Fig. 7. SMPS Circuit diagram of developed constant current compensation.

2) 변압기의 누설 임피이던스와 정전압 대책

회로 ㉮, ㉯는 변압기의 누설 인덕턴스에 의한 구동기에 드레인 전압을 안전한 레벨로 클램핑시키고, 최소한의 부품 수와 최대한의 효율성을 위해 회로 ㉯에서는 제너 클램프를 선택하여 정전압을 유지토록 한다. 또한, 역방향 전류를 방지하기 위해 역방향으로 다이오드를 배치한다. 공간의 효율성을 위하여 RM6 코어를 선택하고 동시에 노이즈를 최소화시키고자 하였지만 안전 공간 요구 사항을 충족하기 위해 플라잉 리드를 사용하였다.

3) 입력 측 바이어스와 출력 전압 추적

변압기 보조 권선에서 1차 측 바이어스를 감시하기 위하여 회로 ㉰는 다이오드 및 저항과 콘덴서 시상수 설정하여 바이어스와 출력 전압을 추적토록 하고 R5 저항을 이용하여 누설 인덕턴스가 발생시키는 전압 스파이크를 필터링하도록 하였다.

4) 출력 과전압 감시

출력 과전압 및 부하 연결 해제 보호 기능이 가능하도록 다이오드 및 저항, 제너 다이오드의 시상수와 회로를 ㉱와 같은 형상으로 LED 부하가 동작 중 연결이 해제되는 경우나 선택된 제너 다이오드의 정격 전압을 초과하면 구동기의 보호기능을 통하여 자동으로 부하에 전류차단또는 공급할 수 있는 기능을 수행하도록 하였다. 이 기능은 부하 불안에 따른 정 전류 출력이 불가할 경우 강제적으로 SMPS는 출력을 차단하게 되며 출력 부하가 재 정상화 시 부하전류가 출력되도록 한다.

5) 전력모드 선택

회로 ㉲의 커패시터 C12를 통해서 출력 전력 모드 선택과 디바이스 손실을 줄이고 LED 각 전구의 써멀 환경에 필요한 효율성을 개선하기 위해 권장 값 10 μF을 선택하였다

6) 피드백

1차측 바이어스와 2차측 권선 간의 턴비로 출력 전압을 설정하였고 귀환에는 가급적 많은 부품 없이 출력 전압을 감시하도록 회로 ㉰, ㉱, ㉲, ㉳와 같이 회로를 구성한다. 특히, 구동기 내부 엔진은 2:1 출력 전압 범위

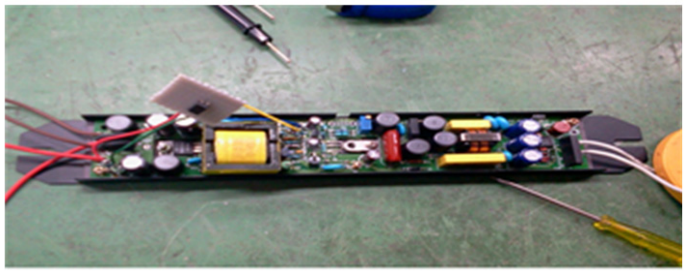


Fig. 8. Development SMPS Unit.

(i) 1등 (0.8A, 23V)

(ii) 2등 (0.8A, 23V)

Fig. 9. SMPS Output Voltage and Current at Lighting each ON case.

를 설정하고 있어서 정전류 출력을 보장하기 위해 회로 ㉯, ㉰, ㉱, ㉲, ㉳와 같이 구성하여 구동기에 FEEDBACK 전류, 입력 전압 감시 전류 및 드레인 전류와 결합할 수 있도록 하였다. 미소한 부하 전류에 대한 강인성을 가지기 위하여 가변 저항을 통한 제어회로를 사용하지만 본 논문에서는 논외로 한다.

7) 출력 정류

변압기 2차측 부하측 권선은 회로 ㉳와 같이 정류와 필터링을 통하여 부하측에 평활화된 전류를 공급되도록 하였으며, 이들의 효율성을 위해 쇼트키 배리어 다이오드를 선택하였다. 허용 가능한 LED 리플 전류를 제공하기 위해 콘덴서는 병렬화 하였고 무부하 상태에서 출력 전압을 제한하기 위하여 별도로 소형 더미 저항부하를 추가할 수도 있다. 출력 부분에서 부하 수의 선택 시 이를 보완하는 변압기 출력 회로는 구성되어 있으나, 본 논문에서는 논외로 한다.

IV. 성능 실험 및 데이터 분석

본 SMPS는 NTT 동일본 본부의 요구 기준으로 SMPS의 출력 성능 검증에 사용한 정보는 다음과 같다.

(i) 입력측 조건 : 95~235 V, 단상, 50/60 Hz
(ii) 부하의 입력 조건
SMPS 출력 : 23[V], 0.8[A], 48[W] 정전압, 전류 측력
(iii) 고조파 조건
- 3차 고조파 : 30% 이하,
- 5차 고조파 : 10% 이하
(iv) 방사 노이즈
- 30 MHZ ~ 1,000 MHZ 범위 수직과 수평노이즈
(v) 돌입전류
100 ms이후 최대치 0.3 A

A. 실험장치 제작

Fig. 8은 Fig. 7을 이용하여 연구 개발된 SMPS의 모습이다.

B. 실험 결과 분석

1) 부하 변동시 출력 전류 확인

Fig. 9는 개발된 SMPS에 1등 ON한 경우와 2등을 ON하는 경우에 한 부하에서 출력 변화를 측정한 것으로 LED 형광등 부하의 입력은 1등을 켰을 경우나 2등을 동시에 켰을 경우 각각 23 V, 0.8 A로 출력하고 있다.

2) 입력 고조파

1차측에서 3차 고조파를 30% 이하, 5차 고조파를 10% 이하로 요구 규격은 Table 1과 같다. 측정조건은 220 V로 50 Hz을 기준으로 하고 있다. 이 경우 요구 조건과 3차, 5차, 7차 고조파를 비교하면 5차를 제외하고 약 2 dB의 차이를 보이고 있으나, 이는 1차측 필터링 회로 보안이 필요한 것으로 시상수에 의한 보완으로 해결이 가능하다고 판단한다.

3) 방사성 노이즈

30 MHz ~ 1,000 MHz 범위로 수직과 수평 노이즈를 측정한 결과치 Fig. 10과 같다.

측정결과 수직편파수신에서 잡음은 전원케이블에서 방사되는 잡음으로 판단되면 부하를 지상에서 80 cm이상으로 하고 전원부에 필터를 추가할 필요가 있는 것으로 판단된다. 수평측의 잡음은 기판에 조밀하게 모인 소자들과 변압기에 의한 것으로 판단되어 기판에서 접지와 함께 필터 추가 및 함체 도료도 이를 고려할 필요가 있는 것으로 판단한다.

4) 돌입전류

돌입 전류는 400 μsec, 2 A이지만 설계된 보호회로 통과 후 100 μs이후 최대치 0.3 A로 결과로 돌입전류에 대한 입력측 보호를 충족하고 있다.

V. 결 론

본 논문은 수동 회로에 의한 가변 시정수를 이용하여 입력 전압과 부하의 출력 전류을 귀환하여 부하의 조건이 현장에서 변하여도 정전압·정전류로 광원의 밝기를 유지하고자 하였다. 특히, NTT 동일본의 요구조건을 충족하고자 하였다.

돌입전류와 부하의 출력 조건은 충족하고 있지만 정해진 함체 규격에 수동소자로만 모든 회로와 시상수

Table 1. Harmonics conditions

고조파	1차	2차	3차	5차	7차	9차
시작품 1(50Hz)	0dB	-50dB 이상	-14dB	-20dB	-25dB	-38dB
시작품 2(50Hz)		-45dB 이하	-30dB	-24dB	-35dB	-32dB
요구 규격		-34dB 이하	-12dB	-20dB	-23dB	-26dB

를 정함으로써 오차를 최소화하고자 하였으나, 방사 잡음 조건에서 임계치 근접과 고조파 오차는 보완이 필요하다.

결국은 기판에서부터 전원과 제어 및 부하를 완전 분리하는 방안과 소자의 오차율과 변압기에서 고속 스위칭에 따른 권선의 재질 선택, 누설 임피이던스 저감 등에 노력 있었음에도 불구하고 수동소자들의 정밀성이 절대적으로 보완이 되어야만 해결점을 도출할 수 있다고 판단한다.

본 연구에서 개발한 SMPS 설계는 LED 광원의 안정적 직류전원 공급에 대한 응용이 가능하겠지만, 에너지 사용량 절감 효과 및 이산화탄소 발생량 저감 정책뿐만 아니라 부하 측면에서 전원측을 바라다보는 설비 보호 정책을 입안하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

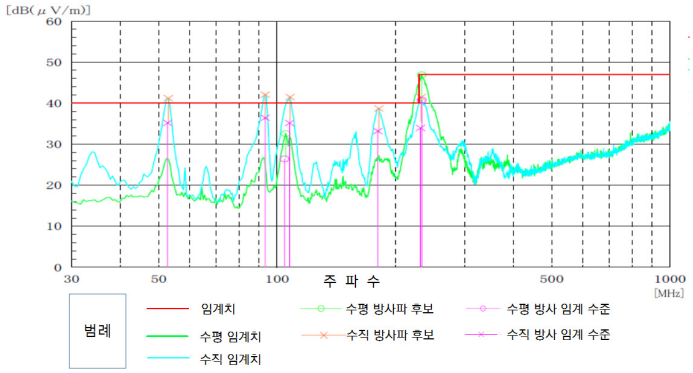


Fig.10. Radiation Noise.

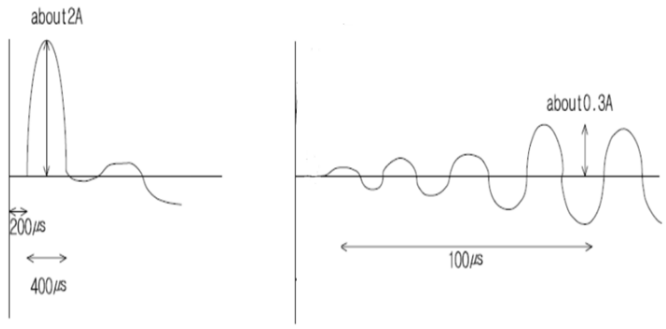


Fig. 11. Inrush Current Wave.

REFERENCES

[1] 삼성 경제연구소 "SERI 경제포코스", 제 208호, 2008.8
[2] NTT 동일본본부 "環境負荷低減に向けた取り組み強化、および本ﾒ社組織名称の変更につ"
[3] 김치헌, LGERI리포트 " LED 조명, 미래의 빛이 되려면" 2009.6
[4] 원충연, 김영렬, 이택기 역저, 현대전력전자(IT Cookbook 한빛교재 시리즈), 한빛미디어, 2011.3
[5] NTT 개발요구서, "ＬＥＤ電源打合せ資料(３版), 2009.09
[6] Power Integrations "LNK403 -409EG Link Switch -PH 제품군 리포트" 2012.3
[7] Power Integrations "LNK 406EG Design Example Report" 2010.7