

# 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템

\*권혁대, \*박천성, \*조성필, \*\*고성훈, \*\*\*이수원, \*이성룡  
\*군산대학교, \*\*전북대학교 \*\*\*연세대학교

## Electric Energy Saving System for Lighting with Power Conditioning

\*H.D. Kwon, \*C.S. Park, \*S.P. Jo, \*\*S.H. Ko, \*\*\*S.W. Lee, \*S.R. Lee  
\*Kunsan National Uni., \*\*Chonbuk National Uni., \*\*\*Yonsei Uni.

### ABSTRACT

This paper deals with the electric energy saving system for lighting with power conditioning, which aims at the integration of power quality improvement and energy saving. The system consists of a CCVSI(Current-Controlled Voltage Source Inverter) and VCVSI(Voltage-Controlled Voltage Source Inverter). The CCVSI is connected in parallel to a grid, which can be operated to compensate the reactive power demanded by nonlinear and variation loads. The VCVSI is connected to the CCVSI through the DC capacitor (DC side) and in series on the AC side(lighting load), which can perform the energy saving. The operation of the proposed system is confirmed through the simulation and its usefulness is discussed.

### 1. 서론

에너지 위기 및 수급 불균형의 심화로 인해 전 세계적으로 에너지 안전보장 위기론이 확산되고 있다. 이러한 에너지 위기에 대응하기 위해서 에너지 소비 감축, 절약 및 대체에너지 개발 등과 같은 에너지관련 기술개발에 관심이 집중되고 있으며 에너지 생산 다변화, 에너지 이용의 합리화, 에너지 절약 및 효율 향상 등의 세 가지 관점에서 추진되고 있다<sup>[1]</sup>.

고 효율 전기기기 및 절전장치는 에너지 절약 및 효율 향상의 대표적인 연구 분야로 소비자(사용자)의 에너지 절약에 대한 노력 없이 생산자(제조업체)의 기술개발로 비교적 쉽게 에너지를 절약할 수 있다. 특히 공공건물 및 상업용 빌딩에서 소비하는 전력량의 40[%]가 조명기기에서 사용되는 에너지로 이를 절감하기 위해 고효율 조명기기 및 조명전력 절전장치에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 여기서 건물용 조명에 주로 사용되는 형광등의 경우 입력전압이 1% 상승하면 온도는 0.6%로 상승하며, 정격전압의 110%의 전압에서는 수명이 50~74%까지 단축된다. 하지만 형광등의 입력전압을 정격전압보다 낮게 공급하게 되면 수명은 큰 폭으로 연장되는 것에 비해 광속은 10% 범위 내에서 거의 변하지 않는다. 또한, 건물의 조도 설계시 형광등의 보수 주기 말기에도 규정된 최소광속을 유지하기 위하여 일반적으로 규정보다 높게 선정하게 된다. 이는 형광등의 입력전압을 정격전압보다 낮게 공급하더라도 규정된 광속을 유지할 수 있어 실제 사용자는 불편함이 없이 에너지를

절약할 수 있음을 의미한다<sup>[2-3]</sup>.

한편, 지식정보화 사회에 따른 문화적 편리성을 추구하는 소비자들의 성향으로 디지털 가전기와 에어컨 같은 현대적인 전기전자제품의 보급률 및 사용량이 급격히 증가하고 있는 추세이다. 이런 비선형 부하의 사용은 역률 저하 및 고조파 발생 등의 계통의 전력품질을 악화시키며 전기기기의 오동작 그리고 변압기 및 전력변환기의 정격용량증가 등의 문제점도 발생하게 된다. 따라서 주거/건물에 사용되는 전력을 종합적이고 효율적으로 관리·제어하기 위한 에너지 절약시스템에 대한 연구는 매우 중요하다.

본 논문에서는 계통의 전력품질 향상, 조명기기의 에너지 절약 및 효율 향상을 위해 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 UPQC(Unified Power Quality Control) 토폴로지를 응용한 형태로 조명전력을 절전하기 위해 필요한 전압제어형 전압원인버터(VCVSI: Voltage-Controlled Voltage Source Inverter)와 계통의 전력 품질을 향상시킬 수 있는 전류제어형 전압원인버터(CCVSI: Current-Controlled Voltage Source Inverter)로 구성된다. 일반적으로 배전선의 인입선을 통해 연결되는 계통은 분전반을 통해 일반부하(동력부하)와 조명부하로 분리된다. VCVSI는 조명부하로 분리된 계통과 직렬로 연결되며 조명전력 절전을 위해 광원의 수명에 다른 적정조도를 유지하도록 전압제어를 하게 된다. CCVSI는 전체 계통과 병렬로 연결되며 인버터 입력단 콘덴서를 통해 VCVSI와 결합되어 있다. 따라서 CCVSI는 역률개선 및 고조파 감소뿐 아니라 VCVSI를 통해 절전된 에너지를 계통에 회생(regeneration) 시키는 기능을 수행한다.

본 연구에서는 제안된 시스템의 동작원리를 설명하고 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 통해 유용성을 확인하였다.

### 2. 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템

본 연구에서는 조명기기의 에너지 절약, 전력품질 개선 그리고 이용의 합리화의 통합적 관점에서 최소의 비용으로 절감효과를 극대화하기 위해 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템을 제안한다. 그림 1의 제안된 시스템에서 CCVSI는 계통과 병렬로 연결된 형태로 인버터의 출력전압은 계통전압과 크기와 위상은 같다. 계통의 전력품질을 향상시키기 위해 부하에서 요구하는 고조파를 포함한 무효전력은 CCVSI에서 공급해야 한다. 또한 VCVSI를 통해 얻어지는 조명전력의 절전

에너지를 계통에 회생시켜야 한다. 이는 유효 및 무효전력 분리 제어가 가능한 PQC(Power Quality Control)<sup>(4)</sup>을 이용하여 수행할 수 있다.

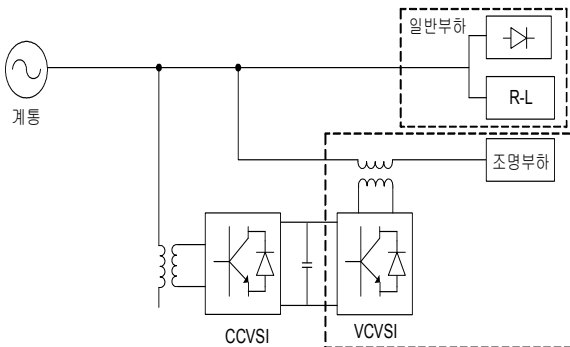


그림 1 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템  
Fig. 1 Electric energy saving for lighting with power conditioning

VCVSI는 계통(조명)과 직렬로 연결된 형태로 인버터의 출력전압의 크기와 위상을 제어함으로써 조명기기의 입력전압을 승강압 시킬 수 있다. 일반적으로 전기기기는 정격전압의  $\pm 10\%$ 까지의 이용전압 범위 내에서 정상 운전될 수 있게 설계·제작하도록 기기제조법규로 규정하고 있다. 이의 결과로 전기기기 제작 시 제조법규를 만족하기 위해서는 이용전압 범위 내에서 출력특성을 보장하도록 과잉 설계(Over Design)할 수밖에 없고, 실제 정격전압 인가 시에는 공급과잉으로 불필요한 전력을 낭비하게 된다. 이를 이용하여 전기에너지 절감을 위해 사용되고 있는 절전장치들은 부하에 인가되는 전압을 강하하여 이의 비율만큼 소비에너지를 절약하는 방식을 주로 사용한다. 기존의 절전장치들은 크게 단권변압기에 의한 방법과 반도체 스위치에 의한 부하전압을 제어하는 방법으로 구분할 수 있다. 그러나 단권변압기는 절전장치의 탭 전환 시의 스파이크 및 변압기 소음문제 그리고 부피가 크다는 단점이 있다. 또한 반도체 소자에 의한 방식은 절전장치에서 절전 에너지를 계통에 회생 시키지 않고 저항에서 소비하는 관계로 에너지 절감효과가 단권변압기에 비해 작은 단점이 있다.

그림 1의 조명부하에서 소비되는 조명 전력 절감을 위한 조명 부하 전압( $V_f$ )의 제어는 VCVSI의 출력단의 전압( $V_{c\_vcvsi}$ )에 의해 결정된다. 이들 관계는  $V_f = V_g - V_{c\_vcvsi}$ 로서 계통 전압( $V_g$ )의 크기에 상관없이 VCVSI의 출력전압의 크기와 위상 제어를 통해 에너지절감에 필요한 적정 조명 부하 전압을 유지할 수 있다. 또한 VCVSI는 양방향 제어가 가능하기 때문에 조명 전력의 절전 에너지를 CCVSI를 통해 계통으로 회생 시킬 수 있으며, VCVSI의 전압제어 범위는 정격의  $\pm 10\%$  범위로 인버터 용량은 부하 정격의 10%면 충분하다.

### 3. 시뮬레이션 및 결과

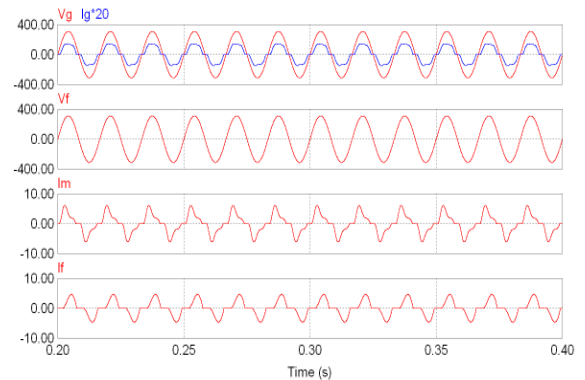
본 연구에서는 제안된 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템의 유용성을 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 조건

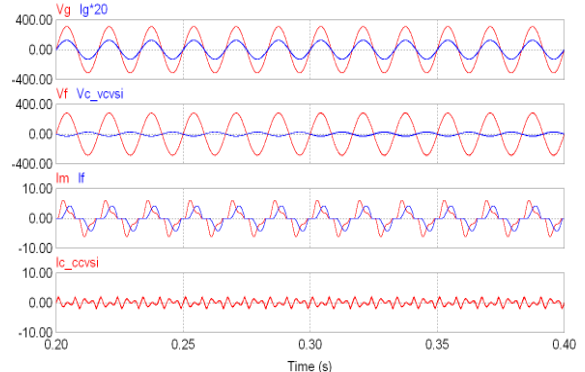
Table 1 Simulation condition and parameters

파라미터	값	파라미터	값	
계통전압	220Vrms/ 60Hz	변압기 권선비	CCVSI	1:2
			VCVSI	5:1
스위칭 주파수	15kHz	필터 인덕터	CCVSI	6mH
			VCVSI	100uH
DC 링크 콘덴서	3300uF	필터 캐패시터	CCVSI	1uF
			VCVSI	21uF

그림 2~4는 본 연구에서 제안된 시스템의 유용성을 확인하기 위한 시뮬레이션 결과로 일반부하의 경우 피상전력 680 [VA] 유효전력 600[W]로 역률은 0.88이며, 조명부하인 경우 피상전력 560[VA] 유효전력 470[W]로 역률은 0.84의 부하조건이다. 전체 계통의 전력은 피상전력 1240[VA] 유효전력 1070[W]로 역률은 0.87로 측정되었다. 그림 2는 시스템의 전압 및 전류 파형으로 그림 2 (a)는 제안된 시스템을 계통에 적용하기 전의 시뮬레이션 결과이며, 그림 2 (b)는 제안된 시스템을 계통에 적용한 시뮬레이션 결과이다. 여기서  $V_g$ 와  $I_g$ 는 계통의 전압 및 전류,  $I_m$ 는 일반부하 전류,  $V_f$ 와  $I_f$ 는 조명부하의 전압 및 전류이다. 또한  $V_{c\_vcvsi}$ 와  $I_{c\_ccvsi}$ 는 각각 VCVSI의 출력전압과 CCVSI의 출력전류이다.



(a) 제안된 시스템을 적용하지 않았을 경우



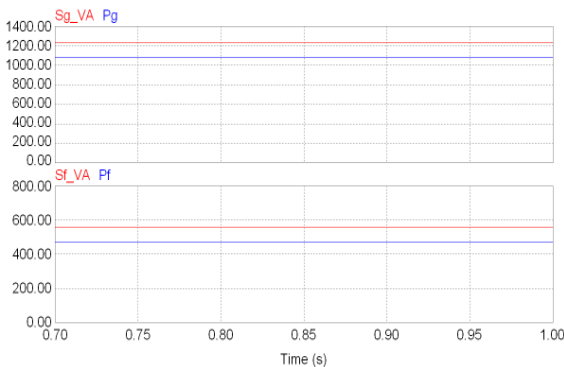
(b) 제안된 시스템을 적용했을 경우

그림 2 제안된 시스템의 전압 및 전류 파형

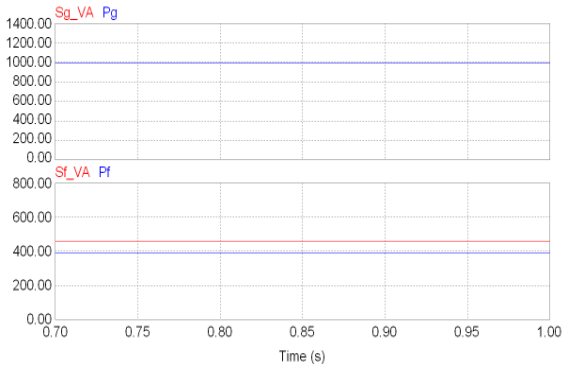
Fig. 2 Voltage and current waveforms of proposed system

그림 2 (a)에서 계통 전류는 비선형 부하(일반부하 및 조명 부하)의 영향으로 고조파가 포함된 왜곡된 파형을 알 수 있

다. 이와 반면에 그림 2 (b)는 제안된 시스템의 전력품질 개선 기능을 수행하여 부하에서 요구되는 고조파가 포함된 무효전력을 보상함으로써 계통 전류는 정현파에 근사함을 알 수 있으며 계통 전압과 전류는 위상차가 “0”에 가까우며 단위역률제어가 가능함을 알 수 있다. 또한 조명전력의 절전을 위해 조명부하에 입력되는 계통 전압을 220[Vrms]에서 200[Vrms]로 약 10 [%]로 전압강하가 발생했음을 알 수 있다. 이는 계통(조명)과 직렬로 연결되어 있는 VCVSI의 출력 전압을 계통 전압과 180도 위상차가 나도록 제어했기 때문이다. 또한 조명전압의 전압 제어로 발생한 전력은 CVCVSI를 통해 계통에 회생시키고 있음을 알 수 있다. 따라서 그림 3과 같이 조명에서 소비되는 전력은 470[W]에서 400[W]로 약 15[%]로 감소했으며, 이를 계통에 회생시켜 전체 계통의 유효전력도 1070[W]에서 1000[W]로 약 6.5[%]의 에너지 절약 효과가 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 단위역률제어로 전체 계통의 피상전력이 1240[VA]에서 1000[VA]로 약 19[%] 감소 효과가 있음을 알 수 있다.



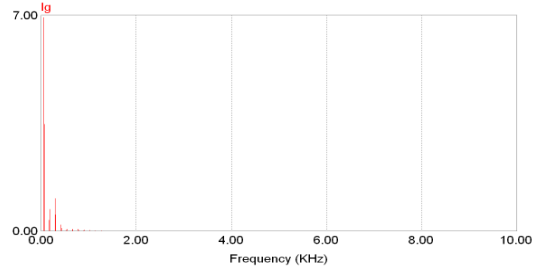
(a) 제안된 시스템을 적용하지 않았을 경우



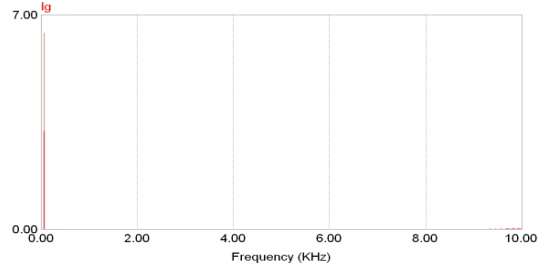
(b) 제안된 시스템을 적용했을 경우

그림 3 제안된 시스템의 전력분석 결과  
Fig. 3 Power analysis results of propose system

그림 4는 그림 3의 계통전류의 스펙트럼 파형으로 PSIM에서 제공하는 FFT 모듈을 사용하였으며, 그림 5 (a)는 제안된 시스템을 적용하지 않았을 경우, (b)는 제안된 시스템을 적용했을 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 5 (a)는 그림 3 (a)의 계통 전류의 스펙트럼 파형으로 THD는 약 18.6[%]로 측정되었다. 이와 반면에 그림 5 (b)는 그림 3 (b)의 계통전류 스펙트럼 파형으로 THD는 1[%] 미만으로 측정되었다. 이는 제안된 시스템이 비선형을 포함한 모든 부하조건에서도 한전배전계통공급기준 및 IEEE std-1159의 조건인 THD 5[%]이내를 충족할 수 있음을 의미한다.



(a) 제안된 시스템을 적용하지 않았을 경우



(b) 제안된 시스템을 적용했을 경우

그림 4 계통전류의 스펙트럼 분석

Fig. 4 The harmonic spectrum analysis of proposed system

#### 4. 결론

본 논문에서는 조명기기의 에너지 절약 및 계통의 전력품질을 향상시킬 수 있는 전력품질개선 기능을 갖는 조명 에너지 절약 시스템을 제안하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 시스템이 부하에서 요구되는 무효전력을 보상함으로써 단위역률제어가 가능하고 THD는 1[%] 이내로 고조파 저감 능력이 우수함을 확인하였다. 또한 조명기기의 입력전압을 제어하여 약 15[%]의 조명 에너지를 절약할 수 있음을 검증하였다.

향후 본 연구의 결과와 실제 주거/건물에서 소비되는 전력 소비행태를 분석한(일반부하와 조명부하의 비율, 부하소비패턴) 자료를 바탕으로 제안된 시스템의 유용성을 확인하기 위해 현장 테스트를 실행할 예정이다.

본 연구는 신재생에너지기술개발사업(2007-N-PV08-03-0)의 지원에 의하여 연구되었습

#### 참고 문헌

- [1] Issue paper, “新 에너지 위기 요인과 동북아 에너지 협력”, 삼성경제연구소, 2003.
- [2] SF. Rubinstein, M. Siminovitch, and R. Verderber, "Fifty percent energy savings with automatic lighting controls," IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 29, pp. 768-773, 1993
- [3] A. Trostl, "Self configuring dimming interface for fluorescent lamp ballasts," presented at IEEE Thirty-Sixth IAS Annual Meeting on Industry Applications Conference, 2001
- [4] 고성훈, 조아란, 강대업, 박천성, 전철환, 이성룡, “전력품질개선 기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전시스템,” 전력전자학회 논문지, Vol. 12, No. 4, pp. 300-309, 2007