

# PFC 및 CCR에 의한 항공조명용 전원공급장치의 개발

論 文

56-12-15

## A Power Supply System for Lighting of Aerodromes by Using Power Factor Correction and Constant Current Regulator

孫 珍 勵<sup>†</sup>  
(Jin-Geun Shon)

**Abstract** - According as level of industry develops day after day, electricity load system of industry requires high level control, effectiveness and high efficiency. Among supply and control unit of suitable power supply in these load characteristic, inverter systems of constant current regulate is used widely control of lighting and electric heating system. But, problems that power factor deterioration and fast response of control, efficiency, harmonics and etc are still remain. Therefore, in this paper proposed an inverter systems with constant current regulation and power factor correction (PFC) circuit for lighting and beaconing of aerodromes. The effectiveness of the proposed system confirmed through experimental results of 10[kW] power supply system.

**Key Words** : Constant Current Regulator(CCR), Power Factor Correction (PFC), Lighting and Beaconing of Aerodromes, Inverter System.

### 1. 서 론

산업화와 정보과학기술의 발달로 인간 생활 및 전 산업분야에서는 좀 더 정밀하고도 다양한 고성능/고효율의 전원공급장치요구의 요구가 날로 증대되고 있다. 특히, 항공기의 이착륙을 안전하게 유도하기 위한 비행장의 조명관제기구에 전원을 공급하기 위한 전원장치인 정전류 조정기(Constant Current Regulator : 이하'CCR')는 직렬부하회로(활주로진입등, 활주로등, 활주로 중심선등, 접지대등, 진입 각 지시등, 유도로등 및 기타 등화)에 일정한 전류를 공급하는 장치로 전원전압, 주파수, 부하용량의 변동에도 능동적인 동작을 요구하는 정전류 공급 장치이다.

현재 사용되고 있는 항공조명용 정전류 조정기는 크게 역병렬로 접속한 사이리스터의 점호각을 조정(위상제어 방식)하여 부하전류의 변동을 검출/제어하는 SCR형 CCR, 리액터와 콘덴서의 공진회로를 응용한 공진형 CCR과 PWM제어 방식을 도입하여 정현파 출력전류를 부하에 공급하는 인버터형 CCR 등이 있다[1-3].

기존의 SCR형 CCR은 시스템 구조가 간단하여 가격과 효율적 측면에서 장점이 있어 널리 사용되었지만 제어에 따른 역률의 변동이 매우 심한 문제점이 있고 부하의 불평형에 따른 상호 간섭작용이 발생하며, 불연속적인 전류의 왜곡이 심하여 많은 고조파 성분을 포함하고 있는 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 특히, 최근의 항공등화 추세는 기존의 할로겐 램프에서 LED로 변화되고 있는 단계에서 LED 등화

설비의 특성은 정현파의 정전류에서 보다 양호한 특성을 얻을 수 있음을 고려하여야 한다. 또한, 공진형 CCR은 전원전압이나 주파수의 변동에 따른 출력전류의 변동이 심하여 제어시스템의 구성 및 공진의 파라미터 튜닝이 어렵게 된다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 CCR시스템 즉, PWM 전력변환회로를 적용한 항공조명용 정전류조정 인버터 시스템의 개발에 관하여 기술하고자 한다. 이러한 인버터형 CCR은 AC 입력을 DC로 변환한 후 반도체 제어소자(IGBT)를 PWM방식으로 제어하므로 응답성이 빠르고 제어소자의 손실이 적으며, 출력전류파형을 정현파로 제어가 가능하다. 또한 3상 입력전원을 적용할 경우 부하 불균형에 의해 야기되는 문제들을 최소화 할 수 있으며, SCR형 CCR보다 고조파성분의 발생이 매우 적어 타 제어장치에 오동작의 영향을 최소화 할 수 있다[4-6].

또한, 주 제어변압기의 크기와 중량을 크게 줄일 수 있는 장점이 있으며, 고속의 스위칭기법을 채용하여 EMI 내성을 강화할 수 있고, 하프브리지 회로로 구성된 PFC(power factor correction)회로[7,8]를 채용하여 역률을 자동제어 할 수 있고, PLC(Power Line Communication)를 적용하여 개별 전구제어 감시장치의 통신품질도 현재의 위상제어방식보다 월등하게 높일 수 있다는 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 위와 같은 기능을 가지는 10[kW]급 PFC 및 CCR에 기반한 전원공급시스템을 시제작 실험하였다. PFC 실험에서는 저가격형 하프브리지 컨버터를 적용하여 입력전류제어에 의한 역률제어, CCR에서는 전압 및 전류의 이중제어루프를 구성하여 CCR의 기능에 충실한 실험결과를 검증하였고, 시스템의 주요 파라미터의 선정기법 등을 제시하여 항공조명분야 국제규격인 FAA 및 IEC의 규격 대응에 적합하도록 하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 暎園大學校 電氣工學科 副教授 · 工博

E-mail : shon@kyungwon.ac.kr

接受日字 : 2007年 9月 4日

最終完了 : 2007年 11月 5日

## 2. 항공조명용 CCR시스템의 구성

### 2.1 기존의 SCR 및 공진형 CCR

그림 2.1은 기존 항공조명 및 관제용 제어장치에 주로 사용되고 있는 싸이리스터 스위칭 소자를 이용한 SCR형 CCR 교류전력 제어장치의 구성 일례를 나타낸 것이다. 이는 입력전압의 위상각  $\alpha$ 를 제어하여 교류출력의 부하 전류를 제어하며, 이때의 위상각  $\alpha$ 는 부하의 상태에 따른 제어기의 기준신호에 의해 조정된다. 이러한 시스템은 교류 부하단에 주 변압기(main transformer)가 있고, 이 변압기와 직렬로 복수개의 변류기(CT)가 연결되어 있다. 각각의 변류기 2차측에는 각종 항공용 조명관제등이 연결되어 있는 전형적인 직렬부하형 CCR회로이다. 특히, 위와 같은 전력제어장치는 복수개의 단심구가 직렬로 연결되어 있으므로 어느 전구 하나가 고장이 나더라도 다른 전구는 계속 정상적인 동작을 행하여야 하며, 이때의 부하 전구는 조명밝기의 일정유지와 수명, 고장검출 등의 유지관리를 위하여 이와 같은 CCR 제어장치가 절대적으로 필요하다.

이러한 SCR형 제어장치는 시스템의 구성이 간단하여, 저가격의 구현이 가능하고 시스템의 전체 효율이 우수하다는 장점이 있으나 입력의 역률 저하, 느린 부하 응답 특성으로 사고 발생시 과급 효과 크고, 전류의 불연속으로 인하여 많은 고조파 성분이 발생하고, 부하의 불평형에 따른 상호 간섭작용이 발생한다는 문제점이 있다.

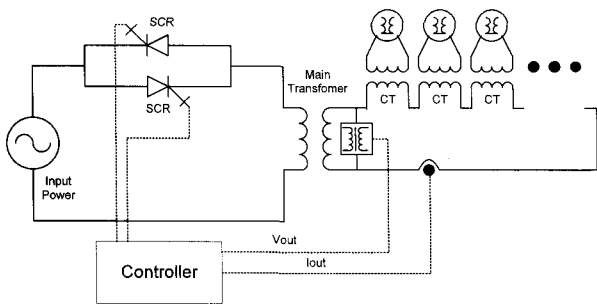


그림 2.1 기존의 SCR형 CCR 시스템  
Fig. 2.1 CCR System of Conventional SCR Type.

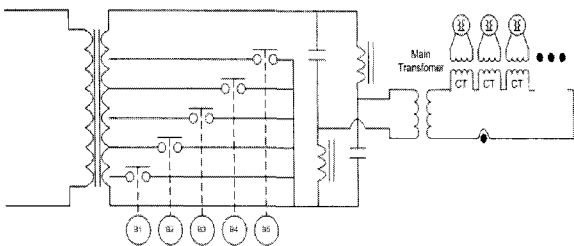


그림 2.2 공진형 CCR 시스템  
Fig. 2.2 CCR System of Resonant Type.

또한 이와 유사한 방법으로 공진형 CCR(그림 2.2)을 사용할 수 있으나 공진의 파라미터 튜닝 및 전원전압이나 주

파수의 변동에 따른 출력전류의 변동이 심하여 제어시스템의 구성이 어렵다는 단점이 있다.

### 2.2 인버터형 CCR

그림 2.3은 그림 2.1과 같은 부하시스템에 역률제어 기능을 가지는 PFC 컨버터와 인버터가 장착되어 있는 CCR을 보여주고 있다. 현재 인버터형 CCR을 생산하고 있는 메이커는 이탈리아의 Augier社와 다국적 기업인 Siemens ADB社로 현재까지 신설 또는 유지보수 중인 공항의 항공 등화 설비의 전원장치로 상당한 시장점유를 하고 있다. 또한 기존의 SCR 방식의 CCR 가격보다 2배 이상 높은 가격으로 시장에 출시되고 있음에도 불구하고 향후 항공 등화의 추세가 기존의 할로겐 램프에서 LED로 변화되고 있는 단계에서 LED 등화 설비의 특성 상 위상 정류의 입력 전원보다 정현파의 정전류에서 보다 나은 특성을 나타내고 있기에 인버터형 CCR의 선호도가 높아지고 있는 추세에 있다.

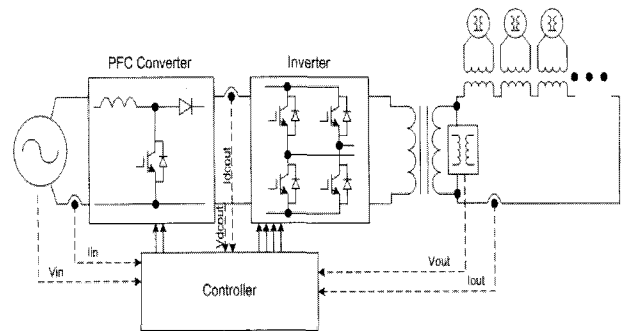


그림 2.3 인버터형 CCR 시스템  
Fig. 2.3 CCR System of Inverter Type.

현재 항공 조명 및 관제 설비의 원격화 및 통합화의 추세에 따라 이러한 설비의 전원을 공급하고 있는 CCR의 경우 타 설비들과 연동하여 제어되며, 공항 등화 설비의 유지 보수 상의 어려움으로 인해 개별 전구 감시 시스템과 항공 교통 관제 설비의 통합 시스템인 VGCS(Visual Ground Control System)보급으로 인해 CCR의 전력선을 이용한 전력선 통신이 많이 보급되고 있는 현실에서 위상 정류를 사용하고 있는 SCR형 CCR 경우 전력선 통신의 통신 속도에 지대한 악 영향을 미치고 있기에 인버터형 CCR의 수요는 지속적으로 확장될 것으로 판단된다.

또한 기존의 SCR형 CCR 경우 FAA 및 IEC와 같은 국제 규격에 부적합한 경우가 많아 국제 공항 규모의 항공 등화 설비의 정전류 전원장치로 부적합 경우가 많았으나 인버터형 CCR은 이러한 단점을 보완하고, 향후 개별 전구 감시 시스템 및 통합 항공 교통 통제 시스템에 적용하여 보다 나은 전력 품질을 보장할 수 있을 것으로 예상된다.

위와 같은 기능을 갖는 항공관제용 CCR 시스템은 부하측의 여러 상황들을 CCR에서 파악하여 상위시스템과 정보를 송수신 할 수 있는 통신이중화 기능 및 다양한 기능을 갖는 새로운 제어방식인 인버터형 CCR을 개발하고 있는 추세로 제품의 기능향상과 다양한 기능을 갖는 인버터형 CCR의 개발이 요구되고 있다.

### 3. 항공조명 전원공급시스템의 설계제작

#### 3.1 PFC 제어회로의 구성

일반적으로 고 역률, 저 리플의 PFC기능을 갖는 AC/DC 컨버터는 입력측 전류제어 및 출력전압을 제어하는 2개의 제어 루프로 구성된다. 입력측의 전류제어루프는 입력전압에 비례하는 기준전류와 입력전류를 비교하여 입력 전류 파형의 모양을 입력 전압 파형에 따라 추종하도록 하는 것이고, 전압의 제어루프는 출력전압과 기준전류의 크기를 조절함으로써 원하는 전압을 기준전압과 비교하여 입력전압을 승압시켜 제어하는 제어루프이다. 전류제어루프 제어기법은 평균 전류모드 제어기법을, 전압제어루프 제어기법은 비례-적분 제어기를 일반적으로 사용한다.

본 논문에서의 PFC구성은 그림 3.1과 같이 하프브리지 형태의 승압형 AC/DC 컨버터의 구조를 갖도록 하며, 입력 전압의 제로-크로스(zero-cross)부근에서의 전류 왜곡 및 스위칭시의 노이즈가 발생, 제어루프의 간단화를 위하여 전류제어루프에서의 가변 이득을 가지는 단상 PFC 디지털 제어기를 적용한 고역률 승압형 컨버터를 적용하였다[8].

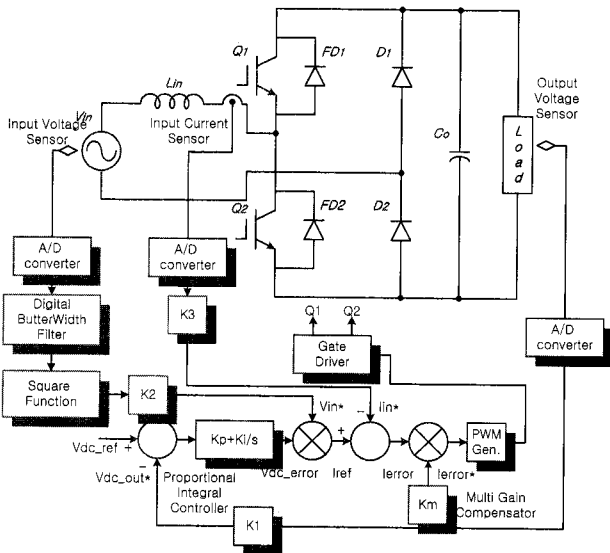


그림 3.1 AC/DC 컨버터 및 PFC의 제어루프  
Fig. 3.1 AC/DC Converter and PFC Control Loop.

그림 3.2는 그림 3.1의 구조와 같은 승압형 컨버터의 동작 모드를 나타내고 있다. 그림 3.2(a)의 모드 1에서는 양의 입력전압 주기 동안 입력 필터인 리액터  $L_{in}$ 에 입력전압  $V_{in}$ 이 충전되는 모드이다. 리액터에 충전되는 전압  $V_L$ 은 식 (1)과 같으며 전류의 경로는  $V_{in} \rightarrow L_{in} \rightarrow Q_2 \rightarrow D_2 \rightarrow V_{in}$ 이다.

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

그림 3.2(b)의 모드 2에서는 모드 1에서 입력 리액터  $L_{in}$ 에 충전된 전압  $V_L$ 과 입력전압  $V_{in}$ 이 출력 커패시터  $C_o$ 에  $V_C$ 의 전압이 충전된다. 이때의  $V_C$ 은 식(2)와 같으며, 전류 경로는  $V_{in} \rightarrow L_{in} \rightarrow FD_1 \rightarrow C_o \rightarrow D_2 \rightarrow V_{in}$ 이다.

$$V_C = V_{in} + V_L \quad (2)$$

그림 3.2(c)의 모드 3에서는 음의 입력전압 주기 동안 입력 필터인 리액터  $L_{in}$ 에 입력전압  $V_{in}$ 이 충전되는 모드이다. 리액터에 충전되는 전압  $V_L$ 은 식(1)과 같다. 전류의 경로는  $V_{in} \rightarrow D_1 \rightarrow Q_1 \rightarrow L_{in} \rightarrow V_{in}$ 이다. 그림 3.2(d)의 모드 4에서는 모드 3에서 입력 리액터  $L_{in}$ 에 충전된 전압  $V_L$ 과 입력전압  $V_{in}$ 이 출력 커패시터  $C_o$ 에  $V_C$ 의 전압으로 충전된다.  $V_C$ 은 식(2)와 같이 표현되며, 전류경로는  $V_{in} \rightarrow D_1 \rightarrow C_o \rightarrow FD_2 \rightarrow L_{in} \rightarrow V_{in}$ 이다.

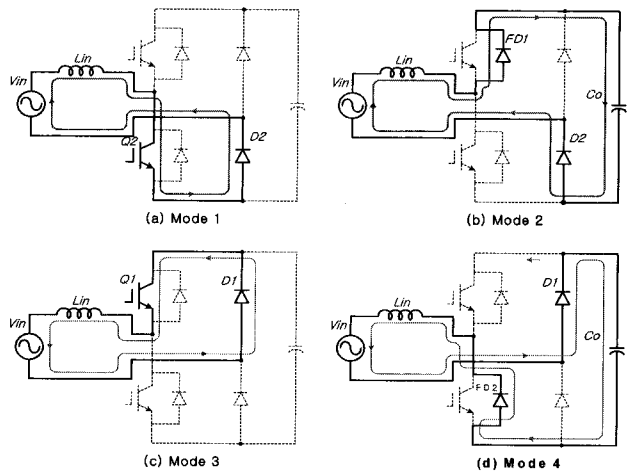


그림 3.2 AC/DC 컨버터의 동작모드  
Fig. 3.2 Operation Mode of AC/DC Converter.

#### 3.2 CCR인버터의 구성

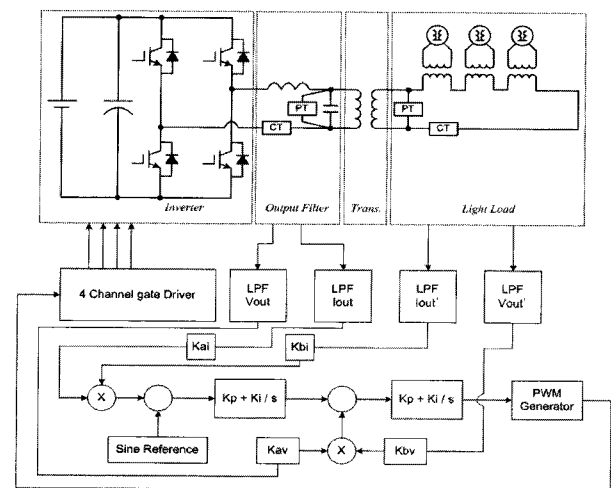


그림 3.3 CCR 인버터의 구성과 제어루프  
Fig. 3.3 Configuration and Control Loop of CCR Inverter.

인버터형 CCR의 전류 제어방식은 그림 3.3과 같은 전류 제어 방식으로 구성하여 전류제어를 수행하였다. 항공 등화 관제용 정전류 전원장치의 특성상 주 변압기의 2차측 출력 전류 및 전압을 센싱하여 출력 부하에 무관하게 일정한 출력 전류를 발생시키도록 제어루프를 구성하였다. 이러한 제어기의 구성은 일반적으로 사용되고 있는 인버터 제어 루프와 달리 내부제어 루프가 전압제어루프, 외부제어 루프가 전류제어루프로 구성되는 것이 정전압 방식의 인버터 제어기와의 차이점이며 이때의 제어기는 기존의 비례적분 제어방식을 적용하였다.

### 3.3 주요 파라미터의 선정 및 설계사양

본 연구개발에서 시작품으로 제작된 PFC 컨버터 및 CCR 인버터는 10[kW]급의 전력변환 용량을 가지며 표 3.1, 표 3.2와 같은 사양으로 설계/제작하였다.

표 3.1 PFC 컨버터의 설계사양

Table 3.1 Specification of PFC Converter.

Parameter	MIN.	TYP	MAX.	Unit	
$V_{IN}$	Input offset voltage	198	220	242	Vrms
$f_{IN}$	Input frequency		60Hz		
$V_{OUTdc}$	Output voltage	390	400	410	Vdc
$P_{OUT}$	Output power	0		10	kW
$V_{RIPPLE}$	Output voltage ripple			3%	
$\eta$	Efficiency(at full load)	90%			
THD	Total hamonic distortion			5%	
$f_s$	Switching frequency		15		kHz
$t_{HOLDUP}$	Hold-up time	16.7			ms
$V_{OVP}$	Overvoltage protection threshold voltage	409	416	422	Vac
$P_{LIM}$	Power limit	11	11.5	12	kW
$I_{LIM}$	Peak current limit	48	49	50	A

이때, 그림 3.1에서의 PFC 입력리액터( $L_{in}$ )의 파라미터는 전류의 리플선정에 근거하여 결정하였다[7]. 이는 입력 최소 전압과 최대의 허용 가능한 듀티비 및 최대 리플 전류(peak to peak)에 의하여 설계되었으며 이는 식 (3)에서부터 식 (5)의 과정을 거친다.

식 (3)은 PFC의 전력변환장치의 출력용량( $P_{OUT}$ )과 입력 전류에 대한 리플 전류의 백분율( $K_{Ripple}$ ), 전압의 실효치 관계를 고려하여 최대 리플 전류  $\Delta I$ 를 구한 식이며, 식 (4)에 의하여 최대 출력 전압의 최소값( $V_{OUT(min)}$ )과 입력 전압의 최소값( $V_{IN(min)}$ )의 차에 의하여 최대허용 듀티 비  $D$ 를 구할 수 있다.

$$\Delta I = \frac{P_{OUT} \times \sqrt{2} \times K_{Ripple}}{V_{IN(min)}} \quad (3)$$

$$D = 1 - \frac{V_{OUT(min)} - V_{IN(min)} \times \sqrt{2}}{V_{OUT(min)}} \quad (4)$$

또한, 식 (1)과 같은 입력리액터의 전압관계를 미분 및 샘플링 스위칭 주파수 ( $f_s$ )관계를 이용하여 식 (5)와 같이 입력 리액턴스 파라미터를 구할 수 있다.

$$L_{in} = \frac{V_{IN(min)} \times \sqrt{2} \times D}{\Delta I \times f_s} \quad (5)$$

이러한 과정에 의하여 리플전류  $\Delta I$ 는 14.3[A], 최대 듀티비는 0.71, 입력 리액턴스  $L_{in}$ 은 0.92[mH]로 계산되었다. 여기서는 입력 전류에 대한 리플 백분율을 0.2로 설정 하였으며 실제 PFC의 입력리액턴스 값은 마진 등을 고려하여 1[mH]로 선정하였다.

표 3.2 CCR인버터의 설계사양

Table 3.2 Specification of CCR Inverter.

Main Parameters		Min.	TYP	Max.	Unit
$V_{in}$	Input voltage	380	400	420	Vdc
$I_{in(max)}$	Maximum Input Current			36	A
$f_s$	Switching frequency		15		kHz
$V_{OUT}$	Output Voltage	110	220	240	Vrms
$P_{OUT}$	Output Power	0		10	kW
$I_{OUT}$	Output Current	19.2		45.4	A
$V_{OVP}$	Overvoltage protection voltage	235	240	250	V
$I_{OCP}$	Overcurrent protection			+1.5	%
$I_{UCP}$	Undercurrent protection	-1.5			%
$T$	Over Temperature at Heatsink	100		105	°C

또한 그림 3.3과 같은 인버터의 출력단에 설치되는 LC 필터는 IGBT에 의해 스위칭된 교류 전원을 필터링하여 정현파 전원으로 변환하는 역할을 한다. 여기서 사용되는 인덕터  $L_{OUT}$ 와 커패시터  $C_{OUT}$ 은 앞에서의 이용 수식과 유사하다.

이들 값의 선정은 식 (5)의 관계와 같이 리액터의 특성관계, 샘플링 스위칭 주파수관계 및 커패시터의 특성 관계를 이용하여 아래와 같은 식에 의해 결정되었다.

$$\Delta I_{OUT} = \frac{V_L \times t_{on}}{L_{OUT}} = \frac{V_L \times D \times T_s}{L_{OUT}} \quad (6)$$

$$L_{OUT} = \frac{(V_{IN} - \sqrt{2} \times V_{OUT}) \times D}{\Delta I_{OUT} \times f_s} \quad (7)$$

$$C_{OUT} = \frac{\Delta I_{OUT}}{8 \times f_s \times \Delta V_{OUT}} \quad (8)$$

여기서,  $\Delta I_{OUT}$ 은 출력 전류의 리플크기로 정격 출력 전류의 10[%]로 선정하고,  $V_L$ 은 출력 인덕터  $L_{OUT}$  양단의 최대 전

압이며,  $D$ 는 평균 듀티비이고,  $T_s$ 는 인버터의 스위칭 주파수의 주기를 의미하고,  $V_{in}$ 은 DC Link 입력 직류전압의 크기 400[Vdc]를 나타내며,  $V_{out}$ 는 최대 출력 전압의 실효치 220[Vac]이고,  $f_s$ 는 인버터의 스위칭 주파수 15[kHz]를 의미한다.

따라서 선정된 파라메타들을 식(6), (7), (8)을 이용하여 계산하면 출력 인덕턴스는 약 0.6[mH], 출력 커패시턴스는 약 16.7[ $\mu$ F]으로 계산할 수 있으며, 실제의 설계적용에서는 출력 인덕턴스는 1[mH], 출력 커패시턴스는 50[ $\mu$ F]으로 선정 제작하였으며, CCR인버터의 전체 제작사양을 표 3.2에 나타내었다.

#### 4. 실험 및 결과고찰

표 3.1과 표 3.2와 같은 전원공급장치의 설계사양으로 제작 실험된 10[kW]급 단상 전원공급시스템의 외함 및 PFC/인버터 파워스택, LC필터 등을 그림 4.1에 나타내었다. 이때의 두 개의 파워스택에 대한 IGBT 및 다이오드 선정은 SEMIKRON 社의 SKM100GAL123D (1200V/100A)로 선정하였다.

또한, PFC 컨버터 및 CCR 인버터 제어기는 동일한 제어 보드를 활용하여 각각의 용도에 적합하게 프로그램 및 EPLD 로직을 다르게 구성하였으며, 제어보드는 40[MHz]의 명령어 싸이클을 가지는 DSP-TMS320LF2407A를 사용하였다.

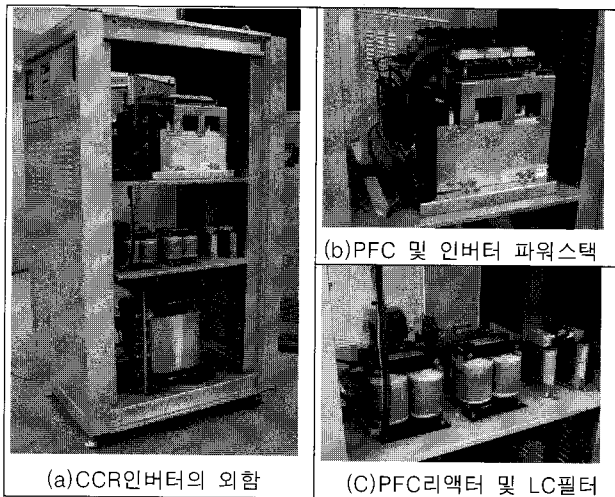


그림 4.1 CCR 인버터의 실험시스템  
Fig. 4.1 Overall Experimental System of CCR Inverter.

또한 그림 4.1과 같은 장치에 의하여 실험된 PFC컨버터의 실험검증 파형을 그림 4.2와 그림 4.3, 그림 4.4에 각각 나타내었다. 이는 각각 50[%] 및 100[%]의 부하 조건에서 입력전류의 정현파 제어 및 역률보정을 위한 검증신호인 전류 에러신호 ( $I_{ERROR}$ ), PFC컨버터 출력 DC전압 ( $V_{OUT}$ ), AC전원측의 입력전압 ( $V_{in}$ ) 및 입력전류( $I_{in}$ )를 각각 순서대로 나타낸 것이다. 이 출력파형에서 보는 바와 같이 입력전류는 입력 전압의 파형을 추종하면서 일정 출력전압을 유

지하여 단위 역률제어를 수행하고 있으며 전체 제어특성이 양호한 것으로 나타나고 있음을 볼 수 있다.

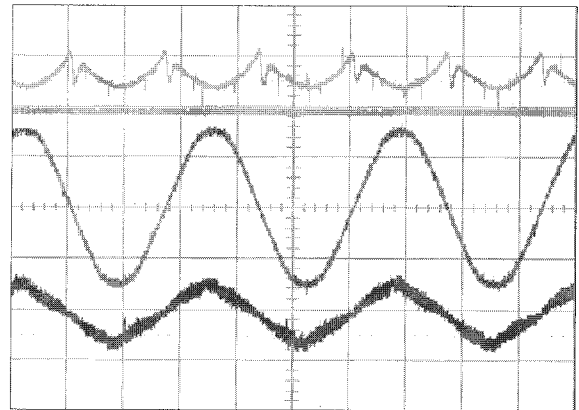


그림 4.2 50[%] 부하시 PFC 입출력 파형  
[Ch1:  $I_{ERROR}$ (5V/Div.), Ch2:  $V_{OUT}$ (200V/div.),  
Ch3:  $V_{in}$ (200V/Div.), Ch4:  $I_{in}$ (50A/Div.), 5[ms]/div.]  
Fig. 4.2 PFC Input/Output Waveform at 50[%] Loads.

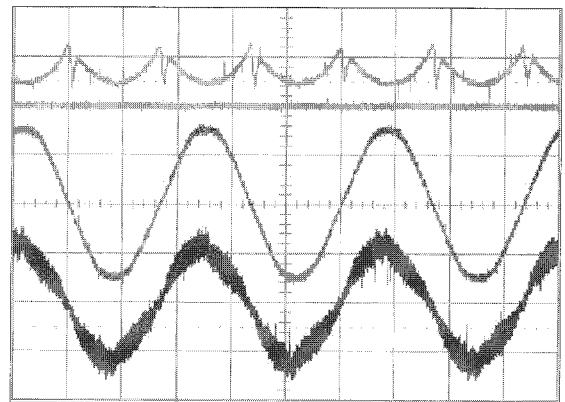


그림 4.3 100[%] 부하시 PFC 입출력 파형  
[Ch1:  $I_{ERROR}$ (5V/Div.), Ch2:  $V_{OUT}$ (200V/div.),  
Ch3:  $V_{in}$ (200V/Div.), Ch4:  $I_{in}$ (50A/Div.), 5[ms]/div.]  
Fig. 4.3 PFC Input/Output Waveform at 100[%] Loads.

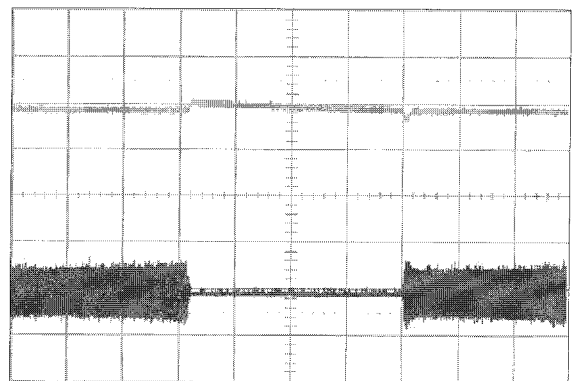


그림 4.4 부하가변시 PFC 전류 및 전압 파형  
[Ch1:  $V_{OUT}$ (200V/Div.), Ch2:  $I_{IN}$ (100A/div.), (1sec/div.)]  
Fig. 4.4 PFC Input/Output Waveform with Variable Loads.

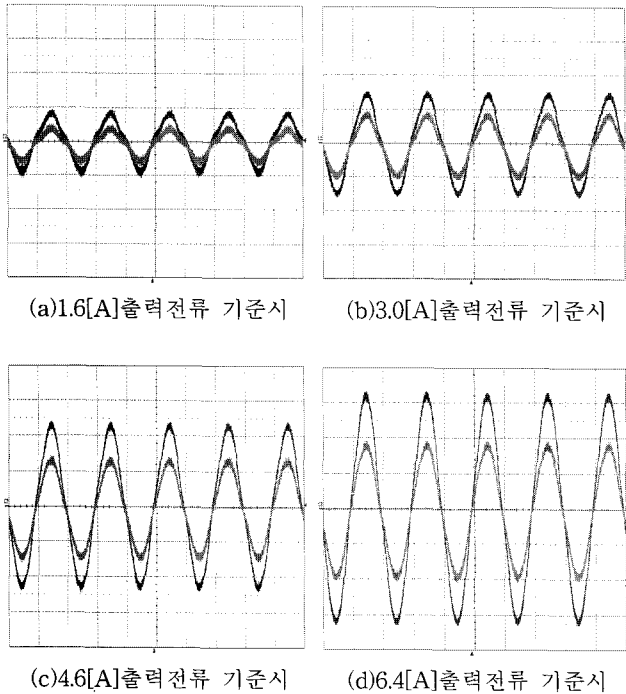


그림 4.5 50[%]부하시 인버터 출력 전류 및 전압제어 특성  
 [Ch1:Output AC Current(5[A]/div.),  
 Ch2:Output AC Voltage(350[V]/div.), 8[ms]/div.]

Fig. 4.5 CCR Inverter Output Control Waveform at 50[%] Loads.

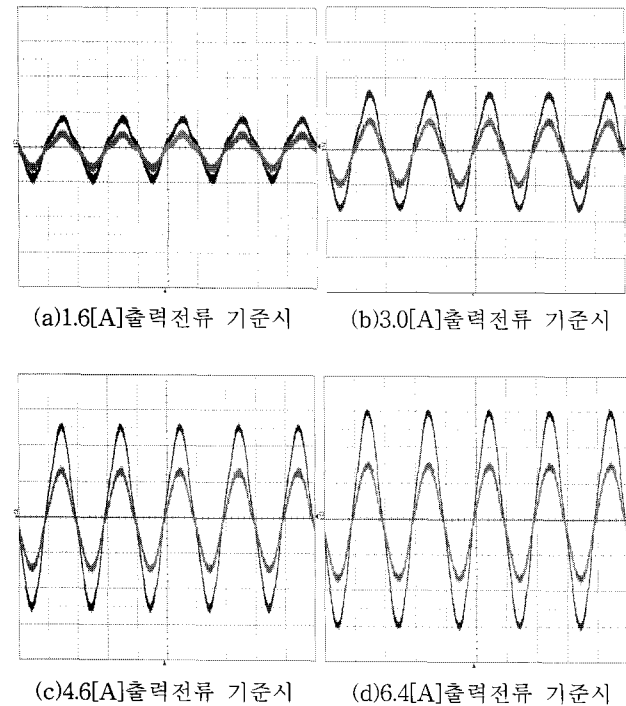


그림 4.6 70[%] 부하시 인버터의 출력 전류 및 전압제어 특성  
 [Ch1-Output Current(5[A]/div.),  
 Ch2-Output Voltage(350[V]/div.) -8[ms]/div.]

Fig. 4.6 CCR Inverter Output Control Waveform at 70[%] Loads.

또한 그림 4.4는 70[%]의 부하 및 무부하에서의 부하 변동 실험에 대한 PFC 컨버터의 동적 응답 특성을 보여주고 있다. 70[%]의 부하상태 운전에서 무부하로 변경되는 순간 최대 18[V] 정도는 전압이 상승하였으며, 무부하에서 70[%] 부하로 가변 하였을 경우 출력 전압이 15[V] 정도 감소하여 100[ms] 이내에 출력 기준 전압을 추종하고 있다. 따라서 PFC 컨버터에 적용된 디지털 제어기의 응답 특성이 설계기준 목표에 잘 부합하면서 동위상의 역률제어가 수행되고 있음을 확인할 수 있다.

또한, 그림 4.5 및 그림 4.6은 시제품으로 제작된 10[kW]급 CCR 인버터의 50[%] 및 70[%]의 부하 (6.4[A] 기준)시 각각의 전류 스텝 지령(1.6[A], 3.0[A], 4.6[A], 6.4[A])에 대한 출력 전류 및 전류지령에 대응한 조정된 변압기 1차측 전압 파형을 보여주고 있다. 이 실험 파형에서 보는 바와 같이, 각각의 전류 스텝에 대한 부하 변동시의 출력 전류는 출력전압의 적절한 조정에 의하여 오차 범위가 설계 기준에 부합한  $\pm 1.5$ [%] 이내에서 잘 제어되고 있음을 확인할 수 있었다.

### 5. 결 론

비행장 및 항공관제의 조명기구 등에 전원을 공급하기 위한 정전류 조정기(CCR)는 전원전압, 주파수, 부하용량의 변동에도 능동적으로 동작하여 직렬부하에 정전류를 공급하는 장치이다. 기존에 설치된 대부분의 CCR시스템은 SCR의 위상제어 방식이었으나 최근에는 인버터형 CCR의 제품이 선진 몇몇 나라에서 출시되고 있는 실정이다.

이는 기존의 CCR가격보다 2배 이상 높은 가격으로 시장에 출시되고 있음에도 불구하고 향후 항공 등화의 추세가 기존의 할로겐 램프에서 LED로 변화되고 있는 단계에서 LED 등화 설비의 특성상 위상 정류의 입력 전원보다 정현파의 정전류에서 보다 나은 특성을 나타내고 있기 때문에 인버터형 CCR의 선호도가 더 높아지고 있는 추세에 있다.

또한 기존의 SCR 방식의 CCR 경우 FAA 및 IEC와 같은 국제 규격에 부적합한 경우가 많아 국제 공항 규모의 항공 등화 설비의 정전류 전원장치로 부적합 경우가 많았으나 인버터형 CCR은 이러한 단점을 보완하고, 향후 개별 전구 감시 시스템 및 통합 항공 교통 통제 시스템에 적용하여 보다 나은 전력 품질을 보장할 수 있을 것으로 예상되기 때문이다.

따라서 본 논문의 개발에서는 PFC 및 CCR에 의한 항공 등화/관제 설비용 전원공급장치를 개발하기 위하여 시제품의 10[kW]급을 제작하여, 그 성능을 실험적으로 평가 수행하였다. 저가격 구조의 하프 브리지형 PFC실험에서는 단위 역률 제어 및 부하가변의 제어특성, CCR에서는 전류 및 전압의 이중제어 루프에 의하여 목표사양의 설계기준에 부합 가능한 즉속스러운 제어의 성능을 확인하였다.

개발된 인버터형 CCR기술을 활용하여 향후 개별 등화 감시 제어 시스템 및 차세대 항공 교통 관제 시스템, 특히 고효율 LED 등화설비에 적극 활용할 계획에 있으며, 원격 감시제어 시스템을 FAA L-827 기준으로 추가하여 CCR과 연동 동작하도록 개발할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Duan Shanxu, Meug Yu, Xiong Jian, Kang Yong and Chen Jian, "Parallel Operation Control Technique of Voltage Source Inverter in UPS", in *Proc. IEEE PEDS'99*, pp.883-887, July 1999.
- [2] Takao Kawabata and Shigenori Higashino, "Parallel Operation of Voltage Source Inverter", *IEEE Trans. Ind. Applicat*, vol. 24, no. 2, pp. 281-287, 1988.
- [3] Takeshi Uematsu, Takumi Ikeda, Noriyuki Hirao, and Shigeru Totsuka, "A Study of the High Performance Single Phase UPS", *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, in Proc, IEEE PESC'98, vol.2, pp.1872-1878. 1998.
- [4] S. J. Chiang, T. S. Lee, and J. M. Chang, "Design and Implementation of a Single Phase Three-arms Rectifier Inverter", in Proc. IEE Electron. Power Application, vol.147, No.5, pp.379-384, 2000.
- [5] J. A. Bright and Wei-Jen Lee, "Integrated Monitoring, Protection, and Control Systems for Industrial and Commercial Power System", *Industry Applications, IEEE Transactions on* , Vol. 36. Issue 1, pp. 11-15, Jan.-Feb. 2000.
- [6] G. Zhu, H. Wei, I. Batarseh, C. Iannello, "Closed-Loop Design for Two Parallel Connected Converters with Power Factor Correction", in Proceedings of the 30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference-Vol.2, pp. 698-703, 1999.
- [7] J.Ch. Le Bunetel, M. Machmoum, "Control of Boost Unity Power Factor Correction System", Proceedings of the 1999 IEEE 25th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society - Volume 1 , 266-271.
- [8] Ramesh Srinivasan and Ramesh Oruganti, "A Unity Power Factor Converter Usin Half-Bridge Boost Topology", *IEEE Trans. Power Electron*, Vol.13,No.4,pp.487-500,1998.
- [9] Ying-yu Tzou and Shih-Liang Yung, "Full Control of a PWM DC-AC Converter for AC Voltage Regulation", *IEEE Trans. Aerospace and Electron. Sys.*, Vol.34, No.4, pp. 1218-1226,1998.
- [10] Chongming Qiao and Keyue M. Smedley, "A Topology Survey of Single-Stage Power Factor Corrector with a Boost Type Input-Current-Shaper", in Proceedings of the 2000 IEEE 15th Applied Power Electronics Conference - Volume 1 , 460-467, 2000.

---

저 자 소 개



**손진근 (孫珍肋)**

1964년 8월 13일생. 1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992 ~ 1995 현대중공업(주) 중앙연구소 주임연구원. 2002. 2 ~ 2003. 2 일본 (국립) 가고시마 대학 해외 Post-doc. 1997 ~ 현재 경원전문대학/경원대학교 전기공학과 부교수.