

소방 비상용 태양전지 발전시스템의 고효율 직류-교류 인버터 설계에 관한 연구

곽동걸[†] · 이봉섭*

한중대학교 전기전자공학과 *강원대학교 제어계측공학과

(2006년 3월 3일 접수, 2006년 7월 25일 채택)

A Study on High Efficiency DC-AC Inverter of Solar Cell Power System Used in Fire Emergency Equipment

Dong-Kurl Kwak[†] and Bong-Seob Lee*

Dept. of Electrical and Electronic Engineering Hanzhong University

*Dept. of Control Instrumentation Engineering Kangwon University

(Received 3 March 2006, Accepted 25 July 2006)

요 약

본 논문에서는 소방 비상용으로 이용되는 태양전지 발전시스템을 제안하고, 발전시스템의 효율을 증대시키기 위한 새로운 고효율의 전력변환장치(승압용 초퍼와 인버터)가 설계된다. 직류-직류(DC-DC) 승압용 초퍼와 직류-교류(DC-AC) 인버터는 사용된 제어스위치들의 스위칭 손실을 최소화하기 위해 공진회로를 이용한 새로운 소프트 스위칭 기법이 적용되고 시스템의 효율을 증대시킨다. 또한 본 논문에서는 태양전지(solar cell)의 최대전력 전송에 의한 태양전지의 효율적인 사용을 위한 태양전지 발전전력의 최대점 P_{max} 을 손쉽게 추종하고 검출하는 새로운 제어기법과 제어회로에 대해 상세히 해석된다. 고효율의 전력변환장치와 태양전지 최대전력 전송회로는 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성이 입증된다.

주요어 : 태양전지 발전시스템, DC-AC 인버터, DC-DC 부스트 초퍼, 소프트 스위칭, 최대전력 추종제어

Abstract — This paper is proposed to a solar cell power system used in fire emergency equipment. Also it is designed with a high efficiency power converter in order to increase efficiency of power system. The controlling switches used in DC-DC booster chopper and DC-AC inverter are operated with soft switching, which is applied to resonant circuit method to reduce switching loss. The result is that the system gets to high efficiency. In this paper, A detection circuit of maximum power point of solar cell is described in this paper. And the performance evaluations for the photovoltaic power system of high efficiency are examined by the analysis of a new tracking controller with a maximum power P_{max} detection of solar cell.

Key words : Solar cell power system, DC-AC inverter, DC-DC boost chopper, Soft switching, P_{max} tracking controller

1. 서 론

현재 나날이 증대되는 화재 및 재해의 피해건수는 매

스کم을 통해 빈번히 보도되고 있는 실정이다. 각종 분석자료를 토대로, 화재 및 재해 발생시에 전력공급의 차단은 더욱 큰 피해규모를 가져옴이 연구보고된다^{[1][2]}. 이는 화재 및 재해로 인한 대다수 방재용 장비 및 기기들이 전력에너지에 의해 구동되기 때문에 재해발생시 전력공급의 차단은 이들 장비 및 기기들을 무용지물로 만드는 결과를 초래한다. 이를 해결하기위해 최근 비상용 전력공급장치에 대해 많은 관심과 필요성이 요구되고 있

[†]To whom correspondence should be addressed.
Dept. of Electrical and Electronic Engineering Hanzhong University
Tel: 033-520-9320
E-mail: dkkwak@hanzhong.ac.kr

으며, 이에 대체 에너지 개발의 일환으로 태양광 발전 시스템을 이용한 전력공급장치에 큰 관심을 보인다^{[3][4]}.

본 연구는 고효율 DC-AC 인버터로 구동되는 태양광 발전시스템을 개발하여 각종 재해발생시의 비상용 전력 에너지 공급장치로 적용된다.

현재 사용되는 태양광 발전시스템은 태양전지에서 출력되는 전력을 배터리에 충전시키고 충전된 직류값을 DC-DC 승압기를 통해 승압시킨 후 DC-AC 인버터 회로를 통해 교류값으로 변환되어 교류전동기 및 부하에 공급되는 설계로 이뤄진다^{[4][5]}. 그러나 이들 태양광 발전시스템에 사용된 DC-DC 승압용 초퍼와 DC-AC 인버터는 승압부와 인버터부를 별도로 두어 각각의 역할분담을 수행하고 있어 구성 소자의 수가 증대되고 특히, 사용된 가제어 소자들의 스위칭 손실에 의해 시스템의 효율을 급격히 저하시키는 문제점이 나타난다^{[6][7]}.

본 연구에서는 고효율의 태양광 발전시스템을 만들기 위해 승압용 초퍼와 인버터에 사용된 가제어 소자들의 스위칭 동작을 소프트 스위칭으로 만들어 시스템의 효율을 증대시키고 앞서의 문제점을 개선하고자 한다. 또한 PWM 제어에 의해 구동되는 인버터부의 스위치들은 소프트 스위칭 동작에 의해 기존의 DC-AC 인버터에서 발생하는 각 상의 스위칭 아암 단락에 의한 소자 손손의 영향이 제거되는 장점도 주어진다.

또한 본 논문에서는 태양전지(solar cell)의 최대전력 전송에 의한 태양전지의 효율적인 사용을 위한 태양전지 발전전력의 최대점을 손쉽게 추종하고 검출하는 새로운 제어기법과 제어회로에 대해 상세히 해석된다.

2. 시스템 구성과 해석

2-1. 시스템 구성

본 논문에서 제안한 고효율 인버터가 적용된 태양전

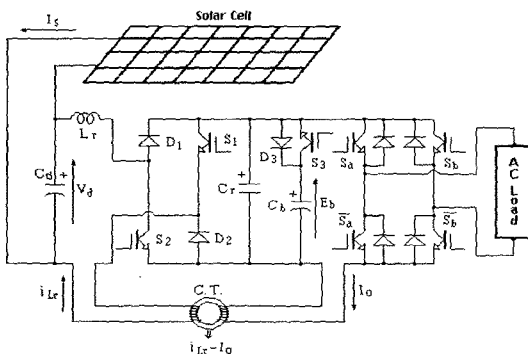


Fig. 1. Solar cell power system for high efficiency inverter.

지 발전시스템의 구성을 Fig. 1에 나타낸다. 발전시스템은 태양전지를 유용하게 사용하기위해 부하 출력형태와 서로 일치되도록 설계한다.

전력변환기로 사용된 DC-DC 승압용 초퍼와 DC-AC 인버터는 부분공진의 기법에 의해 사용된 가제어 소자들을 소프트 스위칭(ZVCS : ZVS, ZCS)으로 만들어 변환기의 효율을 증대시킨다. 부분공진 회로는 승압용의 인덕터 L_r 와 무손실 스너버 커패시터 C_r 로 구성된다. 커패시터 C_r 에 축적된 에너지는 스위치 S_1, S_2 의 턴-온에 의해 전원측으로 회생되는 모드를 가진다. 또한 배터리 C_b 는 태양전지에서 나온 전력을 저장하며 동시에 공진 커패시터 C_r 의 공진 피크값을 클램프 시킨다.

2-2. ZVCS 승압용 초퍼에 의한 고효율 인버터 해석

태양전지의 낮고 변동이 잦은 출력전압은 DC-DC 승압용 초퍼를 통해 부하의 필요전압으로 승압과 일정전압으로 안정화시킨다. 이들은 승압용 초퍼에 사용된 스위치들의 듀티율 제어에 의해 실행된다. 제안된 ZVCS 승압용 초퍼의 동작상태는 Fig. 2와 같이 4개의 모드로 해석된다. 공진회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프이고 커패시터 C_r 에는 출력전압 V_o 로 충전되어 있다. 또한 출력 부하측 리액터가 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 인버터부를 정전류원 I_o 로 보는 것이 가능하다.

<Mode 1; $t_0 < t < t_1$ >

시간 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 턴-온 하고 동시에 스위치 S_3 를 턴-오프하면, 회로경로는 $V_{dc}-L_r-S_2-C_r-S_1-V_o$ 의 직렬공진 회로로 된다. 턴-온 직전의 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 는 영이므로 S_1, S_2 는 영전류 스위칭(ZCS : Zero Current Switch)로 동작을 한다.

<Mode 2; $t_1 < t < t_2$ >

모드 2는 커패시터 전압 v_{Cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1, D_2 가 도통되는 모드이다. 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 전류는 D_1-S_1, S_2-D_2 로 분류한다. 이 때의 인덕터 전류 i_{Lr} 는 직선적으로 증가한다. PWM 제어에 의해 동작되는 인버터부의 스위치들은 이 기간에서 절환 동작되어 영전압 스위칭(ZVS : Zero Current Switch)이 가능하다.

<Mode 3; $t_2 < t < t_3$ >

시간 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 턴-오프하면, 인덕터 L_r 의 전류는 $D_1-C_r-D_2$ 를 통하여 흐르며, 인덕터 L_r 와 커패시터 C_r 는 다시 직렬공진을 하여 C_r 를 충전시킨다. 커패시터 C_r 와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진초기 커패시터 C_r 의 전압이 영이므로 ZVSO 동작된다.

<Mode 4; $t_3 < t < t_4$ >

모드 4는 커패시터 C_r 의 전압이 출력전압 V_o 으로 충

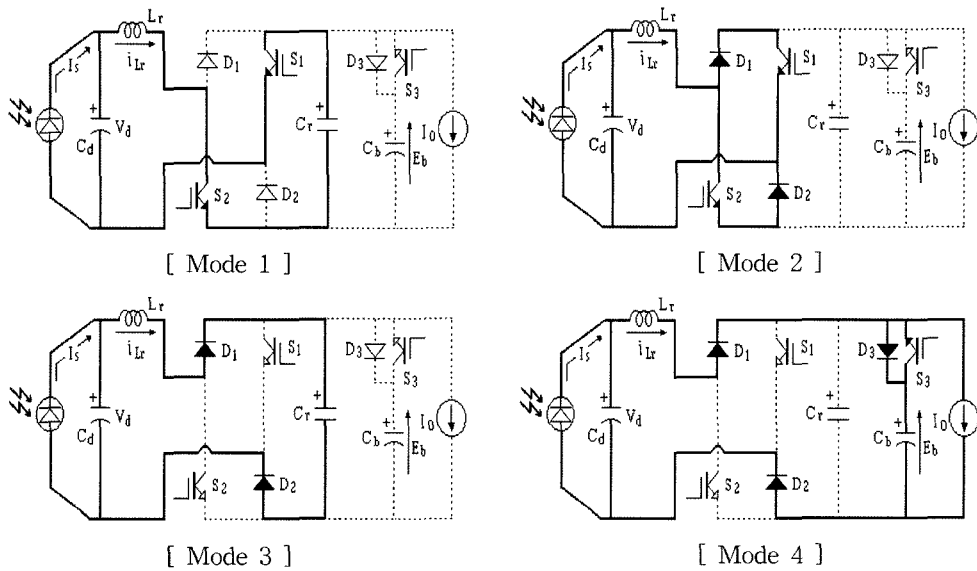


Fig. 2. Equivalent circuits of operating modes in one cycle switching.

전되어 인덕터의 전류가 배터리 및 부하측으로 유입되는 모드로써 인덕터 전류는 직선적으로 감소한다. 이 모드는 인덕터 전류 $i_{Lr}=0$ 가 되면 종료된다. 또한 이 모드에서 스위치 S_3 를 턴 온 시켜 ZVS 동작을 만든다.

Fig. 3은 ZVCS 승압용 초퍼의 동작상태를 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실행한 결과이다.

위의 4가지 동작모드는 스위치 S_1 , S_2 와 S_3 의 스위칭

1주기에 대한 것으로써 스위칭 일정 듀티율에 의해 지속적으로 반복된다. 그 결과 커패시터 C의 전압은 지속적인 부분공진 동작에 의해 클램프된 진폭을 가진 공진 펄스형태의 파형으로 되어 인버터부의 입력단에 가해진다.

승압용 초퍼에 의한 출력 요구전압으로 안정화된 전압은 DC-AC 인버터의 입력단에 인가되고 인버터부의 스위치들(S_a ~ S_b)은 PWM 스위칭 제어에 의해 직류를 교류로 변환시킨다. 또한 인버터부의 스위치들은 승압용 초퍼의 스위치들과 동기화되고, 커패시터 C의 전압이 영으로 될 때 동작되어 소프트 스위칭을 이룬다. Fig. 4는 PWM 인버터부의 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수들은 Table 1에 주어진다.

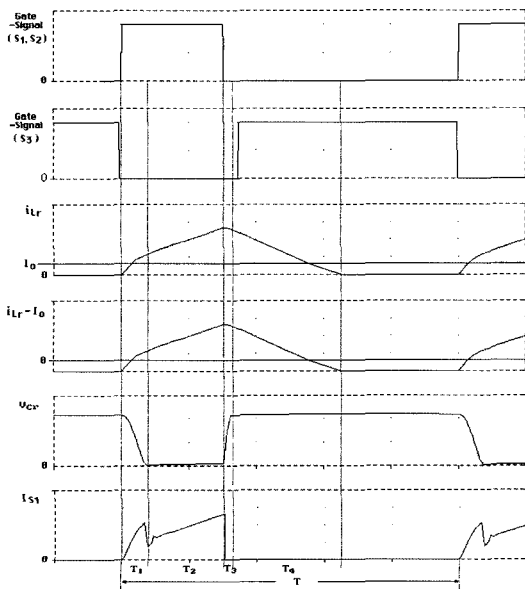


Fig. 3. Simulation waveforms for switching operation.

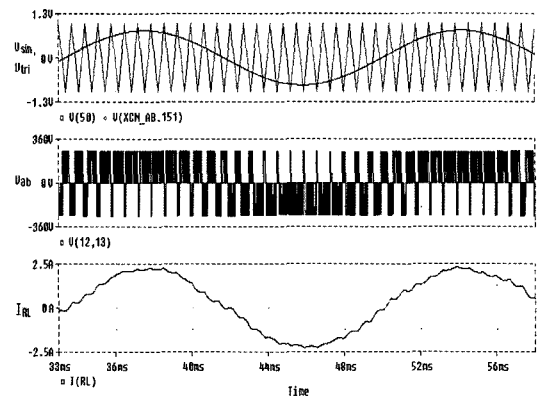


Fig. 4. Simulation waveforms of PWM inverter part.

Table 1. Circuit parameters.

입력전압 V_d	100 V
공진 리액터 L_r	70 μ H
공진 커패시터 C_r	100 nF
평활용 커패시터 C_d	1000 μ F
스위칭 주파수 f_c	20 kHz
듀티율 D_c (T_{on}/T_c)	30%
변조신호 주파수 f_o	60 Hz
캐리어신호 주파수 f_r	1.44 kHz
변조도 a (E_o/E_i)	0.8
출력측 필터 리액터 L_r	7 mH
출력측 필터 콘덴서 C_r	50 μ F
저항부하 R_L	100 Ω

3. 최대전력 검출원리

제안된 회로를 상태 평균화법을 이용하여 정상상태의 해석을 한다. 단, 공진주기는 스위칭 주기에 비교해서 상당히 짧은 기간이므로 무시하고 입력측 커패시터 C_d 의 용량은 스위칭에 의한 태양전지간 단자전압의 변동이 무시될 정도로 큰 것으로 가정한다. 그리고 각 구성소자는 이상적인 것으로 고려한다.

여기서 $\frac{di_{Lr}}{dt}=i'_{Lr}$, $\frac{dV_d}{dt}=V'_d$ 로 놓으면, 모드 2의 등가 회로에서 다음의 상태방정식이 얻어진다.

$$\begin{pmatrix} i'_{Lr} \\ V'_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{L_r} \\ \frac{1}{C_d} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{Lr} \\ V_d \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{I_s+I_o}{C_d} \end{pmatrix} \quad (1)$$

또한, 모드 4의 등가회로는 아래 식과 같이 주어진다.

$$\begin{pmatrix} i'_{Lr} \\ V'_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{Lr} \\ V_d \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{E_b}{L_r} \\ \frac{I_s}{C_d} \end{pmatrix} \quad (2)$$

모드 2, 모드 4의 스위치의 듀티율 $D(=T_{on}/T_c)$ 로 하면,

$$\begin{pmatrix} i'_{Lr} \\ V'_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{D}{L_r} \\ \frac{D}{C_d} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{Lr} \\ V_d \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{E_b(1-D)}{L_r} \\ \frac{I_s+DI_o}{C_d} \end{pmatrix} \quad (3)$$

와 같이 된다. 따라서 정상상태에서 V'_d 와, i'_{Lr} 는 영이므로 인덕터 전류 i_{Lr} 는

$$i_{Lr}=I_{av}=I_o+\frac{I_s}{D} \quad (4)$$

로 되며, 여기서 I_{av} 는 인덕터 전류의 평균치로 된다. 이 상으로부터 V_d 와 E_b 의 관계는

$$V_d=\frac{1-D}{D}E_b \quad (5)$$

로 되고, 식 (4)의 인덕터 전류평균치 I_{av} 는 다음 식으로 주어진다.

$$I_{av}=I_o+\left(1+\frac{V_d}{E_b}\right)I_s=I_o+\left(I_s+\frac{\text{태양전지출력}}{E_b}\right) \quad (6)$$

여기서, 인덕터 전류 i_{Lr} 와 부하전류 I_o 의 차 $i_{Lr}-I_o$ 를 변류기 CT에 의해서 검출하고 그 평균치를 I_{av}' 라 하면, $I_{av}'=\{평균치(I_{av}-I_o)\}$ 로 된다. 또한 I_{av}' 는 다음 식처럼 I_o 에 무관하게 된다.

$$I_{av}'=\left(1+\frac{V_d}{E_b}\right)I_s=\left(I_s+\frac{\text{태양전지출력}}{E_b}\right) \quad (7)$$

그러므로, 태양전지의 단자간의 전압 V_d 는 스위치 S_1 , S_2 의 듀티율에 의해 제어됨을 알 수 있으며, 태양전지로부터 발전되어진 전력은 일단 인덕터를 경유하여 배터리에 흘러 들어가게 된다. 여기서 부하전류의 평균치가 일정하다고 가정하면, 배터리에 입력되는 전력(P_{in})이 최대일 때는 태양전지에서 최대전력(P_{max})을 발전하고 있다고 볼 수 있다. 그리고 배터리에 전력이 공급되는 기간은 스위치 S_1 , S_2 가 오프 때부터이므로 태양전지에서 배터리로 유입되는 평균전력은 배터리 전압(E_b)이 일정하다고 하면 식 (8)로 주어진다.

$$P_{in}=\frac{E_b}{T} \int_0^{T_{iL0}} \left(-\frac{E_b}{L_r}t+I_{LH}\right)dt=\frac{DE_b}{T_{on}}\left(-\frac{E_b}{2L_r}T_{iL0}^2+I_{LH}T_{iL0}\right) \quad (8)$$

여기서, T_{iL0} 는 스위치가 오프된 후부터 인덕터의 전류가 영으로 될 때까지의 기간으로 Fig. 5에 주어진다. 그리고 $T_{on}=L_r\Delta I_L/V_d$, $T_{iL0}=L_r\Delta I_L/E_b$, $\Delta I_L=(I_{LH}-I_{LL})$, $I_{av}'=1/2(I_{LH}+I_{LL})$ 로 주어진다. 그러므로 평균전력은 다음으로 정리된다.

$$P_{in}=D \cdot I_{av}' \cdot V_d=(1-D) \cdot I_{av}' \cdot E_b \quad (9)$$

여기서, E_b 는 일정하므로 $(1-D) \cdot I_{av}'$ 의 최대점이 배터

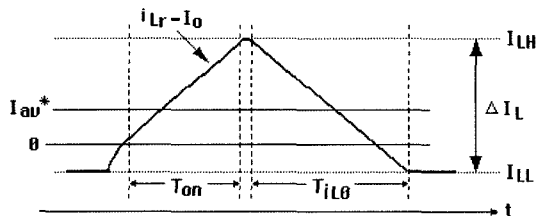


Fig. 5. Detecting waveform of C.T.

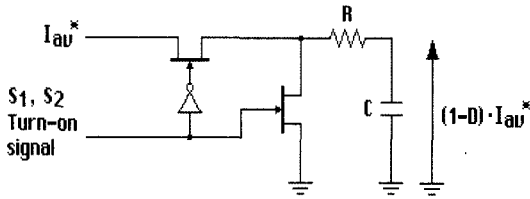


Fig. 6. Operational circuit of $(1-D) \cdot I_{av}^*$.

리 입력전력(P_{in})의 최대점에 있다고 생각할 수 있다. 그리고 식 (5)와 식 (7)을 이용하여 태양전지 출력을 구하면 다음 식으로 정리된다.

$$(1-D) \cdot I_{av}^* \cdot E_b = V_a \cdot I_s \quad (10)$$

식 (10)에서 배터리에 입력되는 전력이 최대일 때 태양전지에서 최대전력(P_{max})을 발전하고 있다고 볼 수 있다.

또한, $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 실제 연산은 Fig. 6과 같이 아날로그 스위치와 RC필터의 회로로 간단하게 구현된다.

Fig. 6의 연산회로는 스위치 S_1, S_2 가 오프일 때는 I_{av}^* 에 비례하는 전압으로 R을 통하여 C에 충전되고, 온 되어 있을 때는 R을 통하여 방전되므로, C의 전압을 검출하는 것으로 $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 를 검출할 수 있다.

4. 실험결과 및 특성해석

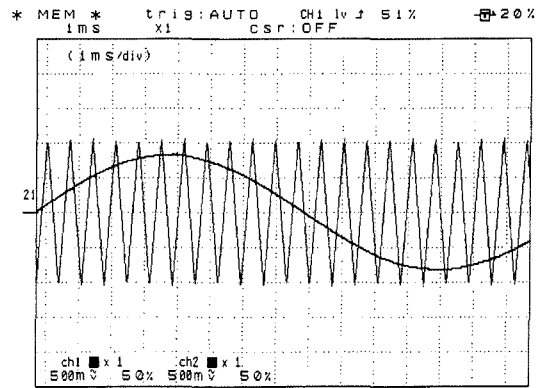
실험과 특성해석에 사용된 태양광 발전시스템의 각 소자들의 사양을 Table 2에 나타낸다. 부하로는 스프링클러 구동용 2kW 공압식 배수펌프를 사용하였다.

Fig. 7은 PWM 인버터부에 대한 각부 실험파형을 나타낸다. Fig. 7(a)는 S_PWM 제어신호로써 변조도 0.8, 주파수 60[Hz]의 정현파 변조신호, 주파수 1.44[kHz]의 삼각파 캐리어 신호를 나타낸다. Fig. 7(b)는 이들 제어신호에 의한 인버터부의 스위치 $S_a \sim S_b$ 의 게이트 제어신호이다.

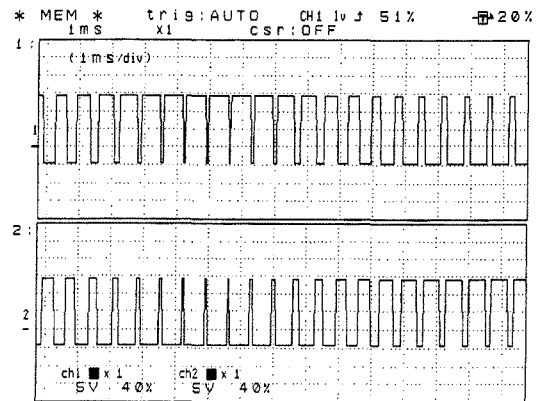
Fig. 8(a)는 출력 기본주파수 f_0 를 기준한 인버터부의

Table 2. Specification of photovoltaic power system.

태양전지	최대출력전력(W)	1850
	정격동작전압(V)	100
승압용 초퍼	입력전압(V)	100
	출력전압(V)	120~320
	효율(%)	96
부하 (공압배수펌프)	Rated output (kW)	대기모드 : 1.2 구동모드 : 2.0
	Consumed power (kW)	대기모드 : 0.8 구동모드 : 1.5



(a) S_PWM control signal

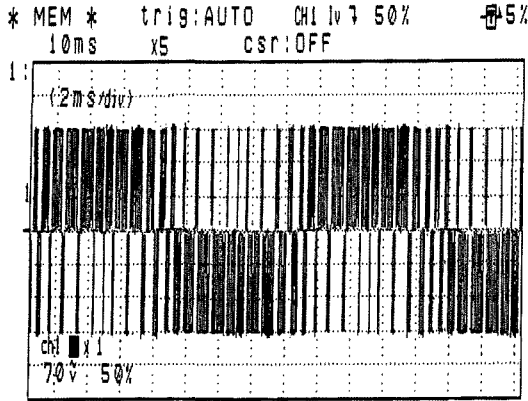


(b) Gate signal of switch $S_a \sim S_b$

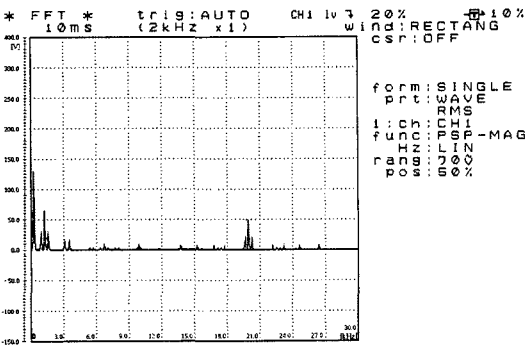
Fig. 7. PWM control signal and gate signal of switches.

출력 선간전압 v_{ab} 를 나타내며, Fig. 8(b)는 출력 선간전압의 주파수를 분석하기 위한 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 출력전압의 주파수 분석결과에서 인버터부의 출력 선간전압은 기본파 성분, 부분공진 회로부의 스위칭 주파수와 사이드 밴드 주파수 그리고 PWM 캐리어 신호의 주파수와 사이드 밴드 주파수들이 나타남을 알 수 있다. 이것은 사용된 스위치들의 스위칭 주파수를 높게 할수록 사이드 밴드는 멀어지므로 출력단에 적당한 지역 필터로써 이들 고주파성분들을 제거할 수가 있다.

Fig. 9는 출력단 필터부를 거친 부하전압에 대한 파형이다. 또한 스위치들은 $dv/dt, di/dt$ 의 영향이 없으므로 EMI 등의 전자유도 잡음이 나타나지 않았으며, 소자 과열에 따른 소자 방열기구들을 축소화 시킬 수 있었다. 또한 각 상에 사용된 아암 스위치들의 단락에 의한 소자 손손의 영향이 제거되는 장점도 얻을 수 있었다. 이상의 실험파형들은 변조신호 주파수 60[Hz], 변조



(a) Output line voltage v_{ab}



(b) Frequency spectrum

Fig. 8. Output line voltage and frequency spectrum.

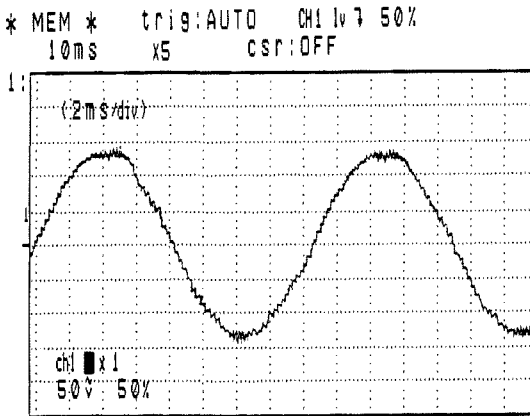
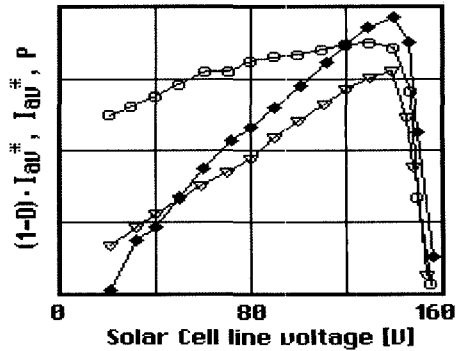


Fig. 9. Output load voltage.

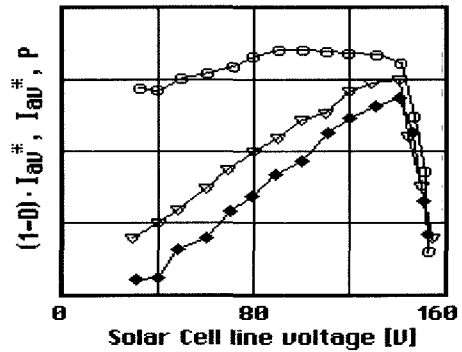
도 0.8에 대한 앞서의 PWM 인버터부의 시뮬레이션 결과들과 잘 일치한다.

Fig. 10은 태양전지 선간전압의 변화에 대한 태양전



○ I_{av}^* tracking
◆ $(1-D) \cdot I_{av}^*$ tracking
▽ Solar Cell output P

(a) Case 1 ($E_b = 120[V]$)



○ I_{av}^* tracking
◆ $(1-D) \cdot I_{av}^*$ tracking
▽ Solar Cell output P

(b) Case 1 ($E_b = 240[V]$)

Fig. 10. Performance evaluation of solar cell power system.

지 출력전력 P , I_{av}^* , $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 변화 관계를 보인다. Fig. 10(a)는 배터리 전압이 120[V]인 경우이고 Fig. 10(b)는 240[V]인 경우이다.

Fig. 10(a)의 분석결과에 있어, 각각의 검출량 피크점은 태양전지 출력전력의 피크점과 잘 일치하고 있다. 이것은 I_{av}^* 는 I_s 의 변화에 영향을 미치지 않음을 나타내며, 식 (7)에서 (태양전지출력)/ E_b 의 값이 크게 주어지기 때문이다.

Fig. 10(b)의 경우는 Fig. 10(a)와 비교해서 배터리 전압 E_b 를 크게 한 경우로써, 검출량 $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 피크점은 태양전지 출력전력의 피크점과 일치하고 있으나 검출량 I_{av}^* 에 대해서는 피크점이 완만한 특성을 나타낸다. 이것은 E_b 가 크게 되어 식 (7)의 I_s 가 상대적으로 (태

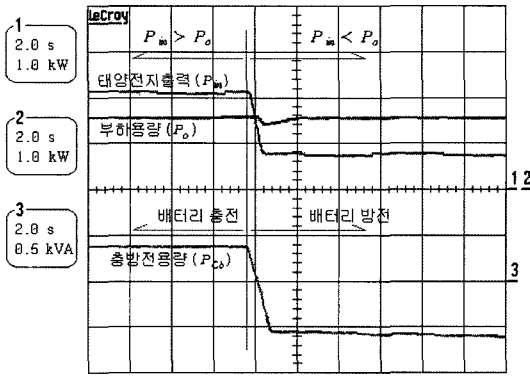


Fig. 11. Performance curve between solar cell power and battery power.

양전지출력)/ E_b 보다 크게 주어지므로 I_s 의 변화에 대해 I_{sv} 의 영향이 크게 된다. 다른 예로써 배터리의 전압이 일정하고 조도가 저하한 경우, 최대 전력점에서의 태양전지 선간전압이 저하되는 경우와 동등한 것이라 생각할 수 있다.

Fig. 11은 부하용량 1.5 kW에서 태양전지의 출력변화에 대한 배터리의 충·방전 특성을 나타낸다. 태양전지의 출력이 부하용량보다 큰 경우 배터리는 충전모드로 되고, 태양전지 출력이 부하용량보다 적은 경우 배터리는 방전모드로 전환되어 부하에 에너지를 공급함을 보인다. 여기서, 태양전지출력 $P_m = V_d \cdot I_s$ [W], 부하용량 $P_o = V_{ab} \cdot I_o$ [W], 배터리충·방전용량 $P_{cb} = E_b \cdot I_{cb}$ [VA]이다.

5. 결 론

본 논문은 소방 비상용으로 이용되는 태양전지 발전 시스템에 대해 제안하였으며, 새로운 고효율의 DC-DC 승압용 초퍼와 DC-AC 인버터에 의해 시스템의 효율을 증대시켰다. 시스템에 사용된 가제어 소자들은 부분공진의 기법에 의해 소프트 스위칭으로 구동되어 스위칭 손실 및 스트레스를 저감시켰으며, 그 결과 변환기의 효율이 증대되었다. 또한 본 논문에서는 태양전지의 효율

적인 사용을 위한 최대전력 검출원리에 대해 수학적으로 상세히 해석을 되었으며, 해석적 결과를 토대로 간단하고 새로운 최대전력 검출회로가 설계되었다. 최대전력 검출회로는 아날로그 스위치와 RC필터로 간단하게 구성되고, 듀티율과 인덕터전류 검출만으로 최대 전력점 검출이 가능하였다. 또한 제안된 태양광 발전시스템은 출력전압 변화에 대해 우수한 최대전력 추종제어가 이루어졌다.

고효율로 동작되는 제안된 태양전지 발전시스템은 소형경량화로 만들어 질 수 있으며 그 활용범위가 넓을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Babrauskas, V. "Fire due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads Be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing?", Fire and Materials 2003, Interscience Communications Ltd., 2003, 189-201.
2. 한국전기안전공사. "전기재해 통계분석" 2005.
3. Katsumi, I. "A New Maximum Power Tracking Method of Photovoltaic Power Generator Taking Frequency Characteristics of Solar Cell Module into Consideration", T.IEE Japan, 1992, 112-D(3), 258-263.
4. Kwak, D.K.; Lee, H.W. "Maximum power tracking Strategy of a Solar Cell using ZVCS converter", KIEE Summer Conf., 2001, 1032-1034.
5. 김일송; 백인철; 윤명중. "계통연계형 태양광 발전시스템의 태양전지 전류 추정을 위한 슬라이딩 모드 관측기 설계", 전력전자학회논문지, 2005, 10(4), 411-419.
6. Smith, K.M.; Smedley, K.M. "A Comparison of Voltage-Mode Soft-Switching Methods for PWM Converters", IEEE Trans. on PE, 1997, 12(2), 376-386.
7. Guo, W.; Jain, P.K. "A Low Frequency AC to High Frequency AC Inverter with Build-In Power Factor Correction and Soft-Switching", IEEE Trans. on PE, 2004, 19(2), 430-442.