

병실 냉·난방을 위한 초퍼와 PWM 전압형 인버터를 이용한 계통 연계형 태양광 발전시스템에 관한 연구

황락훈^{1*}, 나승권²

A Study on the Utility Interactive Photovoltaic System Using a Chopper and PWM Voltage Source Inverter for Air Conditioner a Clinic room

L H Hwang¹ and S K Na²

요약 태양전지는 일사량, 온도와 부하에 의해 크게 변동하기 때문에 가능한 한 많은 에너지를 얻기 위해서는 태양전지의 출력을 항상 최대로 제어할 필요가 있다. 태양전지의 출력은 직류이므로 교류부하에 적용하기 위해서는 전력변환장치 중 인버터가 필수적이며 단위 역률을 갖는 정현파 전류 및 전압을 부하계통에 공급해 주어야 한다.

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 승압 초퍼와 단상 PWM(Pulse Width Modulation) 전압형 인버터로 구성하였고, 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 원칩 마이크로프로세서에 의해서 처리하였다. 전력비교에 따라 시비율을 변화시키지만 태양전지는 전형적인 수하특성을 갖고 있어, 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력 점을 추적하도록 승압초퍼를 제어하였다. 단상 PWM 전압형 인버터는 태양전지가 연속 발전할 수 없는 단점을 보완하기 위해 일반 상용전원과 연계함으로써 약 10~20% 전력절감효과를 얻을 수 있는 에너지절약 전원복합형 전력변환장치로 구성되어 있다. 단상 PWM 전압형 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전하므로 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 하여 고 역률과 저고조파 출력을 유지 하므로써 부하와 계통에 전력이 안정하게 공급될 수 있도록 제어하였다.

Abstract The solar cells should be operated at the maximum power point because its output characteristics were greatly fluctuated on the variation of insolation, temperature and load. It is necessary to install an inverter among electric power converts by means of the output power of solar cell is DC. The inverter is operated supply a sinusoidal current and voltage to the load and the interactive utility line. In this paper, the proposes a photovoltaic system is designed with a step up chopper and single phase PWM voltage source inverter. Synchronous signal and control signal was processed by one-chip microprocessor for stable modulation. The step up chopper is operated in continuous mode by adjusting the duty ratio so that the photovoltaic system tracks the maximum power point of solar cell without any influence on the variation of insolation and temperature for solar cell has typical dropping character. The single phase PWM voltage source inverter is consists of complex type of electric power converter to compensate for the defect, that is, solar cell cannot be develop continuously by connecting with the source of electric power for ordinary using. It can be cause the effect of saving electric power, from 10 to 20%. The single phase PWM voltage source inverter operates in situation, that its output voltage is in same phase with the utility voltage. The inverter are supplies an ac power with high factor and low level of harmonics to the load and the utility power system.

Key words : photovoltaic, solar cell, inverter, PWM(Pulse Width Modulation), converter

1. 서론

¹ 세명대학교 전기공학과

² 한국 폴리텍 III 대학 원주 캠퍼스 의용공학과

* 교신저자: 황락훈(lhhwang@semyung.ac.kr)

에너지 수요의 급증과 공급의 불균형에 따른 새로운
에너지 개발의 필요성으로 인해 국내외 여러 나라에서

국가적 차원의 연구개발이 시작되었다. 최초의 새로운 에너지자원은 태양열 변환방식이 국부적으로 이용되어 왔으나 전력용 반도체 소자의 개발과 함께 태양열에 의한 광 반도체 발전소자 및 반도체 전력변환장치에 의한 직접 발전방식이 주목되기 시작하였다.[1]~[5]

이에 대한 대책으로 선진 각국에서는 대체 에너지 개발을 추진하고 있으며, 그 중에서도 신 에너지원으로서 무공해이며 무구한 태양에너지를 이용한 태양광발전시스템이 새로이 각광받고 있다. 태양전지의 출력특성은 일사량 및 부하에 따라 크게 변화하기 때문에 일사량과 부하에 관계없이 항상 최대 출력 점을 추적하여야 한다. 그리고 태양광발전시스템을 독립형으로 구성하는 경우 전압형 인버터의 출력전압을 일정하게 유지하여야 할 필요가 있다. 현재 국내외에서 개발되어 사용되고 있는 계통 연계형 인버터의 종류는 크게 저주파 절연변압기형, 고주파 링크형, 절연변압기가 없는 형(Transformerless)으로 구분된다. 절연변압기가 없는 형은 계통과 전기적으로 절연이 되지 않기 때문에 안전성을 확보하기 위하여 제어기가 복잡하고 부가적인 보호회로를 필요로 하는 단점이 있다[6]~[8]. 반면에 고주파 링크 형은 보다 많은 파워 스위치 소자를 사용하는 단점이 있지만, 계통선과 전기적으로 절연되어있기 때문에 안정성이 높으며, 저주파 절연변압기를 사용하지 않으므로 고 효율화, 소형경량화, 전체 시스템 가격의 저가화가 가능하다는 장점이 있다[9]~[15]. 본 연구에서는 계통 연계형 태양광 발전시스템을 전압형 인버터로 구성하여 전력비교에 따른 시간 비율을 변화시켜 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력 점을 추적하도록 승압초퍼를 제어하고자 하였고, 인버터는 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전하므로 고역률 저고조파 출력으로 부하와 계통에 전력이 공급되도록 전압형 인버터를 제어하고자 한다.

병원내의 병실과 일반 룬의 온도 유지와 습도 조절을 위한 공급 전력을 이용하지 않고 태양광 시스템을 이용하여 별도의 PWM 전압형 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전할 수 있도록 하였다. 또한 태양광 시스템을 이용한 독립적인 운전을 위해서는 병원 실내온도 및 습도센서 조절을 위한 전력변환기 제어에 의해 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 하여 고역률과 저 고조파 출력을 유지함으로써 부하와 계통에 전력이 안정하게 공급될 수 있도록 제어 하였다.

2. 본론

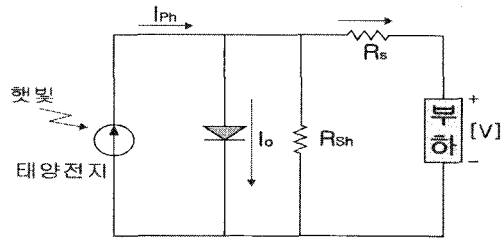
2.1 태양전지 특성과 등가회로

그림 1은 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다. 조건적으로 가장 이상적인 경우 태양광 투사시의 전압전류 관계는 식 (1)과 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

실제로는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 가 가해져서 그림 1과 같이 되고, 전류는 식 (2)와 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{q(v + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{2} \quad (2)$$



[그림 1] 태양전지의 등가회로

여기서 I 는 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_o 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 상수, k 는 볼츠만 상수이고 q 는 전자 1개의 전하이며 일반적인 전압 전류 특성곡선으로 그림 2와 같이 나타나게 된다.

그림 2에서 개방전압 V_{oc} 단락전류 I_{sc} 곡선인자 FF(Fill Factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서 태양전지의 우선 개방전압은 수하특성의 곡선을 그리며 식 (3)과 같이 된다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} I_n \left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 \right) \quad (3)$$

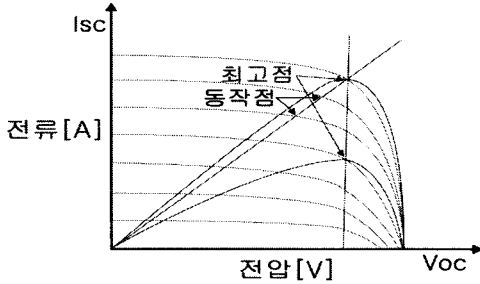
또한, 태양전지의 단락전류는 식 (4)와 같이 된다.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{qIR_s}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

태양전지의 곡선인자는 식 (5)로 정의된다.

$$FF = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (5)$$

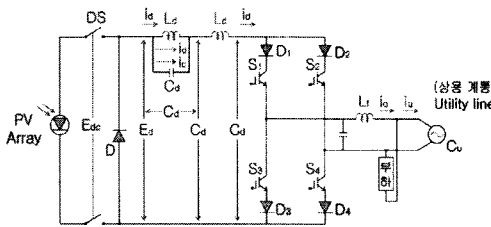
여기서 V_m 은 태양전지의 최대출력전압, I_m 은 최대출력전류이다.



[그림 2] 태양전지의 전압, 전류곡선

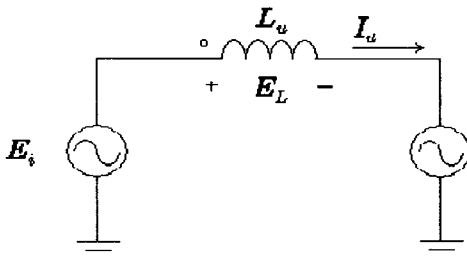
2.2 시스템 구성 및 등가회로 해석

태양전지의 발전전력을 파워컨디셔너를 거쳐서 교류 전력으로 변환하여 상용에 상시 접속하는 계통연계시스템, 태양전지와 파워컨디셔너의 중간에 축전지를 설치하여 독립전원으로 할 수 있는 독립전원시스템, 계통연계와 독립전원의 동작을 전환하는 계통연계 전환시스템이 있다. 그림 3은 태양광을 연계한 전압형 인버터 시스템 구성도를 나타내고 있으며, 계통 연계 시 인버터 시스템의 등가회로는 그림 4와 같이 되고 부하와 입력사이에 다음 식 (6)을 만족하게 된다.

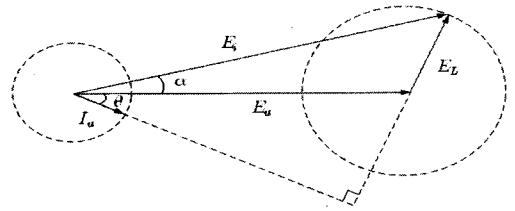


[그림 3] 전압형 인버터 시스템 구성

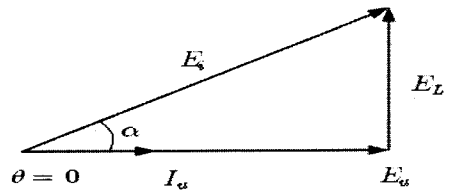
$$E_i = E_L + E_u \quad (6)$$



[그림 4] 전체 시스템 등가회로



ody(a) 단위 역률이 아닐 경우



(b) 단위 역률일 경우

[그림 5] 시스템의 페이저도

그림 5(a)는 I_u 가 E_u 보다 임의의 위상각 θ 만큼 지상인 경우이며, 그림 5(b)는 단위역률을 만족하기 위한 페이저도로서 I_u 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_u = \frac{E_L}{j\omega L_u} = \frac{E_i}{j\omega L_u} \sin\alpha \quad (7)$$

그림 5(b)의 페이저도와 같이 단위역률을 만족($\theta = 0$) 하기 위해서는 인버터 출력전압 E_i 의 위상이 계통전압 E_u 의 위상보다 항상 앞서도록 출력전압의 크기와 제어 각 α 를 동시에 제어해야 할 필요가 있다. 시스템이 단위역률로 제어되고 있는 경우의 관계식은 식 (7)에 나타내었고, 계통 측으로 흐르는 전류 I_u 는 리액턴스 전압 E_L 에 비례함을 알 수 있다.

2.3 본 시스템 태양광 MPPT 제어

한정된 면적의 태양전지로부터 최대의 전력을 발전하기 위해 사용하는 기술이 MPPT(Maximum Power Point Tracking)방법 인데, MPPT방법으로는 P&O법, IncCond 법, 일정전압 제어법 등 3가지가 주로 사용된다. P&O (Perturbation&Observation)법은 전압의 증감에 따른 전력의 변화를 측정하여 항상 최대 전력점에서 동작하게 제어하는 방법으로 전단계의 전압 전류와 현재의 전압 전류를 비교하여 다음 단계의 제어를 결정함으로써 최대

전력점에서 동작하게 한다. 이 방법은 광량이 낮은 경우 제어특성이 나빠지고, 광량 변화가 심한 경우 MPPT 추종을 실패하는 경우가 있다.

IncCond(Incremental Conductance)법은 임피던스 매칭 법으로 부하의 임피던스와 태양전지의 임피던스가 같아지는 지점에서 태양전지 출력이 최대가 되는 것을 이용하는 방법이다. 최대 전력점에서는 전압변동에 대하여 전력의 변화가 Zero가 되므로 식 (9)와 같이 되고 발전전력 $P = I \times V$ 이므로 식 (9)는 식 (10)으로 나타난다. 따라서 식 (11)이 만족하면 최대전력점이 됨을 알 수 있다.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (9)$$

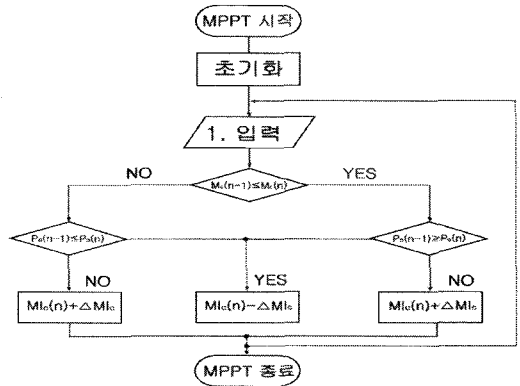
$$\frac{I}{dV} - \frac{V}{dI} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{V}{I} \quad (11)$$

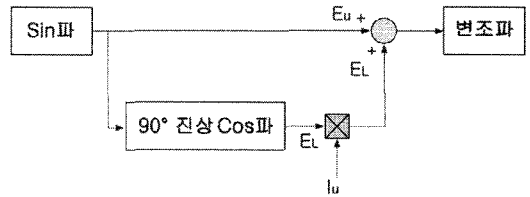
즉, 시간당 전압 전류의 비와 이때의 전압 전류의 기울기가 동일한 지점이 최대 출력점이 되는 것이다. 추종 성능이 우수하나 많은 연산을 필요로 하여 프로세서에 상당한 부담을 주는 단점이 있다.

일정전압 제어법은 최대전력점이 일정전압 점에서 크게 벗어나지 않는 지점에서 나타나므로 전압을 일정하게 유지하여 제어하는 방법이다. 효율이 약간 떨어지고 정확한 MPPT 추정이 안 되는 단점이 있으나 제어기 구성이 간단하여 소규모시스템에 적합하게 사용 된다.

그림 6은 최대출력 추적제어를 위한 프로그램 흐름도를 나타낸다. 변조율이 $+\Delta M_c$ 로 보정되고 있는 경우에는 과거전력과 현재전력을 비교하여 현재전력이 큰 경우에는 $+\Delta M_c$ 를 보정하고, 현재전력이 작은 경우에는 $-\Delta M_c$ 로 보정을 한다. 그러나 변조율이 $-\Delta M_c$ 로 보정되고 있는 경우에는 과거전력과 현재전력을 비교하여 현재전력이 큰 경우에는 $-\Delta M_c$ 로 보정하고, 현재전력이 작은 경우 $+\Delta M_c$ 로 변조율 보정을 함으로서 항상 태양전지의 최대 출력 점에서 동작할 수 있도록 추적제어를 한다.



[그림 6] 최대 출력점 추적제어 흐름도.



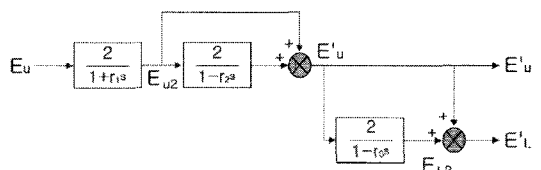
[그림 7] 기준파 발생을 위한 제어 블록도.

시스템의 고 역률을 유지하기 위한 변환기의 제어방법은 그림 7과 같으며, 계통전압 E_u 와 일치하는 sin파를 발생시키고, 이와 90° 의 위상차를 갖는 cos파를 발생시켜 제어에 필요한 값인 기준파로 설정하며, 설정된 기준 전류 I_u 에 의하여 인버터 출력 측 전압을 제어하여 상차 각도를 만족하면 고 역률 운전과 DC/AC 전력변환이 이루어지게 된다.

$$\tau_1 = \left(\tan \frac{\pi}{3} \right) / \omega$$

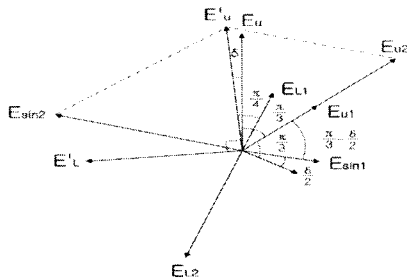
$$\tau_2 = \left(\tan \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\delta}{2} \right) \right) / \omega$$

$$\tau_3 = \left(\tan \frac{\pi}{4} \right) / \omega$$



[그림 8] 변조지연 보상을 위한 흐름도

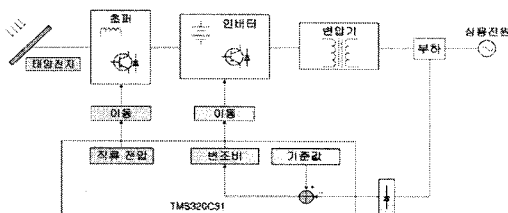
마이크로프로세서에 의한 PWM 신호 발생 최초의 인터럽트 주기에서 A/D 변환을 시작한 후 다음 주기에서 그 변환된 데이터에 의해 제어를 위한 연산 및 펄스폭 연산을 하게 되며, 세 번째 주기에서 연산된 데이터에 의해 PWM 신호를 출력하게 된다. 따라서 실제로 프로세서가 샘플링 시점에서 인식한 데이터와 그 데이터를 출력하는데에는 δ 만큼의 시간 지연이 생기게 되며, 이로 인하여 인버터 출력 측과 계통 간에 순환전류가 발생하게 되므로 이것을 보상할 필요가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 동기신호의 입력 단 측에 1차 RC 저역통과필터를 이용하여 A/D 변환되어 입력되는 계통 전압의 노이즈 성분을 제거하고, 위상 쉬프터(Shifter)를 이용하여 PWM 파형의 지연 시간을 보상할 수 있도록 한 변조지연 보상을 위한 흐름도를 그림 8에 나타내었다.



[그림 9] 기준파 발생기의 벡터도

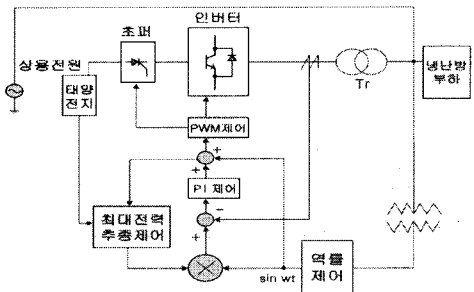
그림 9는 시스템의 변조지연 보상을 기준파 발생을 위한 벡터도로서 계통전압의 동기신호인 E_u 는 저역통과 필터 및 위상 쉬프터를 거쳐 변조 지연각 δ 를 보상하여 전압의 크기는 같고, 위상은 δ 만큼 앞서는 기준 정현파 E_u' 를 만든다. 기준파 E_u' 와 90° 의 위상차를 갖는 기준 리액턴스전압 E_L' 를 입출력 전달함수에 의해서 벡터도를 나타낼 수 있다.

2.4 병실의 냉·난방 태양광 발전 구성 시스템과 제어기 구성



[그림 10] 병실의 냉·난방 태양광 발전시스템 제어 블럭도

그림 10은 태양전지를 이용한 독립형 전원시스템의 제어기 구성을 나타낸다. 최대 출력점 추적제어를 하기 위해서 태양전지 전압과 전류를 검출하여 항상 최대전력이 되도록 스텝핑 모터를 제어하여 태양전지어레이를 회전시켜 태양의 위치를 찾아가도록 제어하였다. 그리고 승압초퍼는 태양전지의 전압을 승압하도록 제어하였고, 전압형 인버터의 출력전압을 일정전압제어를 하도록 출력전압을 검출하여 입력전압과 부하변화에 관계없이 일정전압을 유지하도록 제어기를 구성하였다. PV(Photo-Voltaic) 시스템에 적합한 병실 냉·난방 계통 연계형 인버터 회로로서 태양전지가 최대 출력점에서 동작할 때 승압초퍼의 출력전압인 직류전압은 인버터에 의해 교류전압으로 변환되며 부하 및 계통 측으로 전류를 공급한다. 계통 측으로 흐르는 전류는 리액터 양단의 전압에 의해서 결정된다. 인버터가 계통 선에 유효전력만을 공급하기 위해서는 리액터에 흐르는 전류가 계통전압과 동상이면 되고 그 크기는 인버터 출력 단 전압의 위상을 제어하므로써 가능하게 된다.

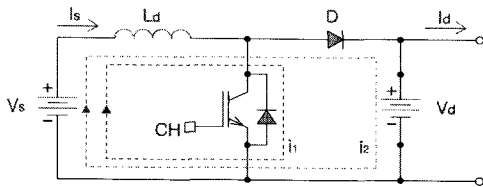


[그림 11] 병실 냉·난방 계통 연계형 인버터 회로

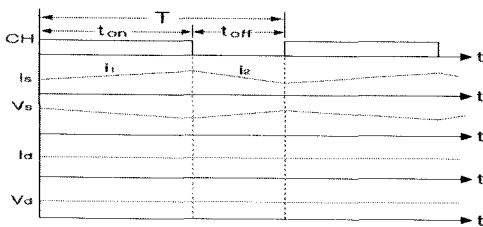
그림 11은 병실 냉·난방 계통 연계형 인버터 회로 구성도를 나타내고 있으며 계통 연계형 인버터는 직류전원과 교류부하 사이의 전력을 균형있게 유지하기 위하여 상용계통을 이용할 수가 있으며 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 부족할 경우, 부족한 전력은 자동적으로 상용계통에서 공급되며, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 클 경우 그 잉여전력은 계통 선상의 다른 부하에 공급되기 위하여 계통 선으로 공급된다. 따라서 태양전지나 연료전지와 같은 대체 에너지원으로부터의 직류전력을 저장하기 위한 비싸고 비효율적인 축전지를 사용할 필요 없이 야간이나 우천 시에도 항상 부하에 전력을 공급할 수 있다. 또한 인버터 출력과 계통 선 사이에 60[Hz] 절연 변압기를 설치하므로 직류전원 측 내부사고시 계통 측으로의 직류분의 유출을 방지하도록 전기적인 절연을 행할 수 있으며 변압기 자체가 계통

선으로 주입되는 고조파 전류를 허용치 이하로 줄이는데 기여하는 직렬 임피던스 역할을 하므로 인버터와 계통선 전압의 인터페이스를 용이하게 해준다. 따라서 본 시스템은 단독 또는 계통 연계형으로 동작이 가능하며, 전류 제어기는 기본적으로 인버터의 전압방정식에 기초를 두어 샘플링 포인트 기준전류와 실제전류를 일치시키도록 인버터의 입력전압을 제어하는 방법을 사용하였다.

또한 실제의 인버터와 모델과의 사이에 파라미터에 의한 오차가 존재하는 경우의 전류의 과도응답 특성을 개선하기 위해 P·I제어기를 이용하여 인버터 입력전압을 보정하여 실제 인버터의 입력 전압은 제어된다. 그림 12는 독립형으로 동작 할 경우의 전원시스템에서 태양전지로부터 인버터 측에 직류전력을 공급하는 승압초퍼회로와 동작파형이다. CH가 ON일 때는 $V_s - L_d - CH - V_s$ 의 경로로 전류 i_1 이 흘러 L_d 에 에너지를 축적하고, CH가 OFF 일 때는 L_d 에 축적되었던 에너지와 태양전지의 출력이 직렬 연결되어 인버터 입력 측에 전류 i_2 가 공급된다.



(a) 승압 초퍼회로



(b) 동작파형

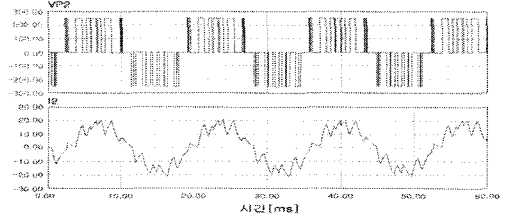
[그림 12] 승압초퍼회로(a)와 동작파형(b)

3. 실험 결과 및 고찰

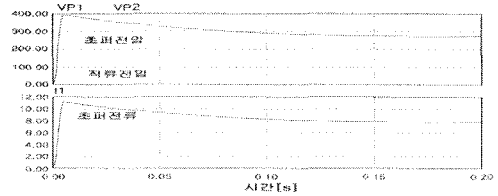
3.1 시뮬레이션 결과

태양전지로부터 출력된 직류전압을 승압시키기 위해서 승압초퍼를 사용하였으며 각 회로에 의해 동작되고 있는 상태를 실제 값보다 1/2감소하여 시뮬레이션을 하

였다. 본 논문에서는 태양광 발전 시스템과 단상 PWM 전압형 인버터로 구성하였다. 태양전지 모듈은 최대출력 전력 50[W], 개방전압 160[V], 단락전류 2[A]이며, 20셀 (cell)을 직병렬 연결한 태양전지 어레이를 사용하였다. 계통전압과 출력전류를 고 역률로 유지하기 위해서 PWM신호를 발생할 때까지 생기는 지연시간 δ 를 계통 전압을 A/D 변환하여 필드와 위상 스위터를 사용하여 보상하고, 계통전압과 출력전류를 검출하여 위상차를 가감함으로써 고 역률을 유지하도록 하였고, 병렬공진회로를 사용함으로써 직류 리액턴스의 크기를 감소시킬 수 있어 스위칭 주파수는 4[KHz]로 구동하였다. 승압형 초퍼를 이용하고 TMS320C31 마이크로프로세서를 이용하여 자동보정하며 세팅된 전압보다 낮아지는 경우에는 전류센서에 의해 주회로 부분이 차단되도록 하였다.



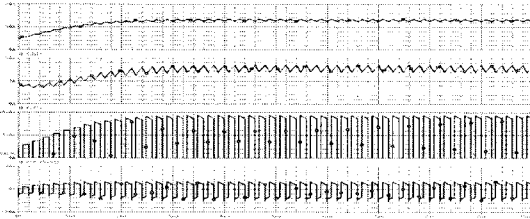
[그림 13] 인버터 출력파형 전류 시뮬레이션 (상: 전압, 하: 전류)



[그림 14] 승압초퍼의 전압 전류 시뮬레이션 (상: 전압, 하: 전류)

각각의 시뮬레이션은 Pspice와 PSIM을 이용하였고, 각 회로에 의해 동작되고 있는 상태를 실제 값보다 1/2감소하여 시뮬레이션을 실시한 인버터 회로의 시뮬레이션 파형을 그림 13에 나타내었다. 10ms 간격으로 주기별 7 펄스로 동작시킨 결과 기존 구형파나 3~5 펄스에 비해서 약 10%의 맥동을 감소를 나타내었고, 고조파 성분이 1/6 정도 감소된 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 승압초퍼 부분의 시뮬레이션을 나타내었는데, 실제 동작 값으로 전압 400V, 전류 12A의 데이터를 프로그램의 데이터로 시뮬레이션 한 결과를 그림 14에 나타내었고, 초기 동작 상태에서 130%의 오버슈트 전류가 나타났고 약 0.1sec 후 안정된 상태를 나타내었다. 따라서 실제 동작

값 보다 낮은 1/2감소된 상태로 시뮬레이션 한 결과를 그림 15와 같이 비교적 안정된 상태를 나타내었다. 따라서 실제 동작 시 기동 값을 약 30~50%낮은 상태에서 기동을 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.



[그림 15] 출력전류파형 시뮬레이션(상: 전류, 하: 전압)

그림 16은 시정수를 5ms~10ms를 이용하여 기동 시 0 값 상태에서 PSIM을 이용 시뮬레이션 한 결과 그림 16에 나타난 것과 같이 기동 시 약 1ms에서 불안한 상태의 동작을 나타냈으나 10ms 구간 맥동율이 거의 0%상태의 안정되고 양호한 시뮬레이션이 된 것으로 확인 할 수 있다.

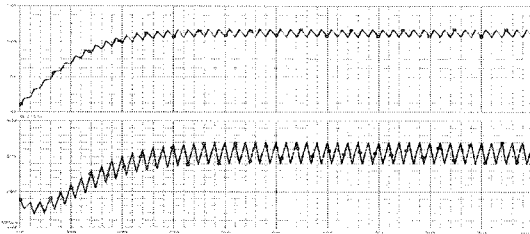


그림 16. 초퍼 입력 전류와 출력전압 시뮬레이션 (상: 전류, 하: 전압)

3.2 실험 결과

본 연구에서는 표 1의 다음과 같은 회로정수를 이용하여 실험을 실시하여 태양전지 및 시스템 동작 상태의 결과 얻을 수 있었다.

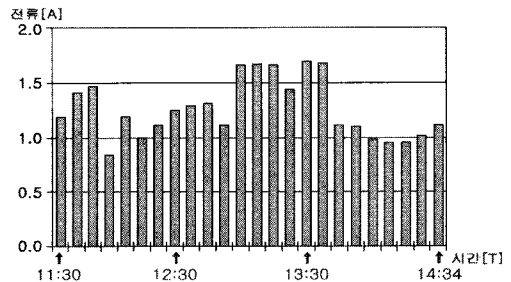
[표 1] 회로 정수

계통 전압		220 [V] / 380 [V]
직류 리액터		50 [mH]
병렬 공진	리액터	8 [mH]
	콘덴서	220 [μ F]
필터	리액터	5 [mH]
	콘덴서	2 [μ F]
변조비		0.85
주파수	반송파	4 [KHz]
	변조파	60 [Hz]
태양전지	개방전압	160 [V]
	단락전류	2 [A]

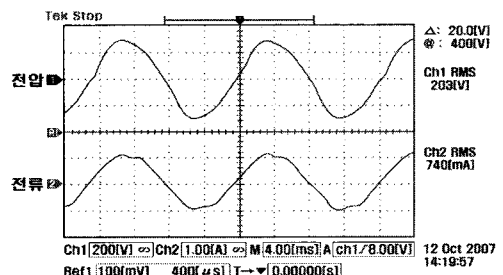
본 연구에서 시스템 구성은 태양전지 array 20개를, 4×5개 직·병렬 2단 으로 구성 하였고 1개의 module은 최대 50[W], 개방전압 160[V], 단락전류 2[A] 정격을 사용하였다. 태양전지 array로부터 출력되는 직류 전압은 승압초퍼에서 승압 된 후에 단상 PWM 인버터에서 교류 전력으로 변환 되게 구성되었다. 이와 같은 시스템을 구성하여 동작시킨 결과의 출력 전압, 전류의 시간대별 측정 상태를 표 2에 나타내었고, 측정된 상태를 그림 17에 그래프 상태로 나타내어 최대 출력 전력 시간대도 바로 파악 될 수 있는 상태에서 실험을 실시하였다.

[표 2] 측정된 개방전압 및 단락전류 데이터

	측정 시간	개방 전압[V]	단락 전류[A]		측정 시간	개방 전압[V]	단락 전류[A]
1	11:30	100.2	1.20	13	13:06	100.6	1.68
2	11:38	100.6	1.42	14	13:14	100.6	1.67
3	11:46	100.4	1.48	15	13:22	100.8	1.45
4	11:54	100.6	0.84	16	13:30	100.2	1.70
5	12:02	100.4	1.20	17	13:38	100.2	1.69
6	12:10	100.0	1.00	18	13:46	100.6	1.12
7	12:18	100.2	1.12	19	13:54	100.8	1.11
8	12:26	100.8	1.26	20	14:02	100.0	0.99
9	12:34	100.6	1.30	21	14:10	100.0	0.96
10	12:42	100.0	1.32	22	14:18	100.6	0.96
11	12:50	100.4	1.12	23	14:26	100.6	1.02
12	12:58	100.8	1.67	24	14:34	100.0	1.12

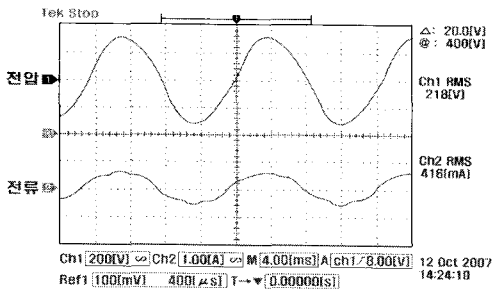


[그림 17] 단락전류의 측정값



[그림 18] 인버터의 출력전압과 전류(R-L부하시)

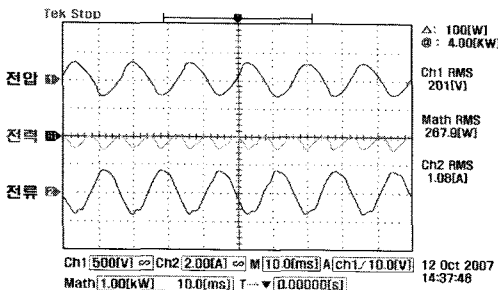
그림 18은 R-L 부하를(일반 건물과 병원 내 온도 및 습도센서와 냉난방 기구의 53[W] 선풍기, 전등부하 180[W]에 적용) 걸고 동작시킨 경우 직류전압 100[V]일 때 변환된 교류 전력의 출력 상태를 나타내었다. 무부하시 출력 상태보다는 다소 일그러진 출력을 나타내고 있지만, 단상 PWM 인버터를 사용하여 초퍼와 인버터 사이의 링크 L에 흐르는 전류에 의해 인버터 입력 전압이 결정되므로 전류파형에 의한 고조파를 최대한 10%줄일 수 있고 흐르는 전류를 승압 초퍼에서 조절할 수 있어 양호한 정현파 파형이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.



[그림 19] 인버터 출력 전압과 전류 파형(L 부하시)

그림 19는 위와 같은 조건에 의해 L 부하 (53W 선풍기, 15W 선풍기, 10W 전동기)만을 사용한 경우, 출력 전압과 전류를 측정된 결과를 나타내었다. L에 의한 전류의 평활을 나타내는 출력 전류에 10%~20% 고조파양의 감소로 비교적 낮은 고조파 함유를 가지고 정현파에 가까운 양호한 파형을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 20은 일반 시스템의 R-L 부하 시 같은 조건하에서(병원 내 온도 및 습도센서와 냉난방 기구의 15[W]선풍기, 53[W] 선풍기, 전등부하 180[W], 냉난방 기구(라디에이터) 1[KW]에 적용) 출력되고 있는 전압, 전류 그리고 입력전력 상태를 나타내고 있다. 고조파 함유량이 약 10%~20%감소된 상태로 보아 매우 양호한 파형을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

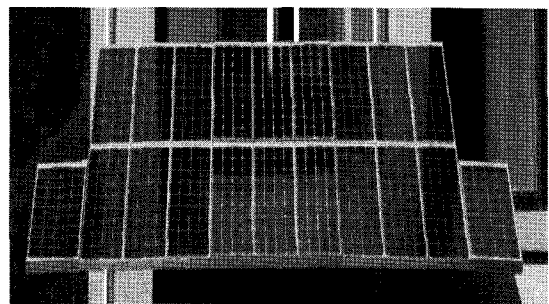


[그림 20] 인버터 출력 전압, 전류 및 전력 파형



(a)선풍기 전등부하 (b)냉난방 부하
[그림 21] 실험 장치도

그림 21은 본 시스템에 사용된 전력변환장치의 실제도를 나타내고 있으며, 단독도 가능하며 또한 계통연계운전도 가능하게 구성 되어 있다. 전력 변환장치의 주요 구성은 초퍼와 인버터 제어를 위한 마이크로프로세서 TMS320C31 시리즈 DSP(Digital Signal Processor)와 초퍼 측의 단락방지와 승압을 위한 리액터 L로 구성되어 있으며, 시스템을 동시에 6가지 종류별 부하를 이용할 수 있는 6개의 단자(terminal)로 구성되어 있다. 본 시스템의 최대 정격 용량은 3KW정도를 이용하여 단독도 가능하며 또한 계통연계운전도 가능하게 된다. 그림 22는 본 전력 변환 장치의 전원부인 태양전지 부분으로 전지 20셀(Cell)을 4×5개 직·병렬 2단으로 연결하여 운전 하고 있는 태양전지 array를 나타내었다.



[그림 22] 태양 전지 어레이

4. 결론

본 연구에서 병실 냉난방을 위해 태양광 위치추적 장치를 구성하고 직류전압원인 태양전지를 사용하고 낮은 직류전압을 승압초퍼를 사용하여 단상 PWM 전압형 인버터를 구성하고 제안된 마이크로프로세서를 이용하여 운전한 경우에 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 승압초퍼를 연계한 PWM 전압형 인버터의 동작으로 직류-교류 변환 발생 전압에 의한 병원과 같은 온도와

습도센서 및 냉난방 부하를 적용하여 안정된 동작을 나타내어 단독 또는 계통 연계형 시스템으로 운전이 가능함을 보였다. (일반 건물과 병원 내 온도 및 습도센서와 냉난방 기구의 15[W]선풍기, 53[W] 선풍기, 전등부하 180[W], 냉난방 기구(라디에이터) 1[KW]에 적용)

(2) 태양전지의 실제전압과 전류를 측정하여 계산되어진 최적동작 전압을 직류 전압 기준값으로 설정하여 승압되는 전압의 최대값이 태양전지가 항상 최대 출력 점근반에서 동작되도록 하였다.

(3) 본 시스템을 병원 내의 규정 상태인 기준온도 24~27[℃]와 기준습도 30~60[%]를 적용 하므로 온도 및 습도센서를 병원의 용량 내 모든 부하에 적용할 수 있는 규격화하는 기초자료로서의 가능성을 입증할 수 있었다.

(4) 변조지연 보상기법을 이용하여 인버터 출력전압 고조파 분을 제거함으로써 정현파에 가깝도록 제어할 수 있어서 기존 구형파나 3~5 펄스에 비해서 약 10%의 맥동을 감소를 나타내었고, 고조파 성분이 1/6정도 감소된 결과 초퍼와 인버터 사이에 병렬 공진회로를 이용함으로써 직류리액턴스의 크기를 감소시킬 수 있었다.

본 연구는 마이크로프로세서에 의해 태양전지의 출력을 검출하여 샘플링 된 과거전력과 현재전력을 비교 하므로써 항상 최대 출력 점을 추적하는, 제어연산에 소요되는 시간을 줄이기 위해 고속연산능력이 뛰어난 DSP의 사용으로 정밀한 제어가 요구된다. 따라서 태양전지에 최대출력제어에 관한 보다 정밀한 제어기법과 최대출력이 항상 유지될 수 있는 MPPT 제어방식을 적용하여 태양광 발전시스템의 전력변환과정에서 효율을 높일 수 있는 새로운 변조기법이 개발되어야 할 것으로 사료 된다. 동시에 병원 내 온도 및 습도센서와 모든 부하에 적용하여 소형 발전으로 가정용이나 일반건물, 병원 등, 산간벽지 정전으로 인한 환자의 응급상황 시, 소규모 전력을 필요로 한 장소에 단독 또는 계통 연계형으로 KS규격화나 법적인 규정에 의하여 사용할 수 있도록 설계하고 적용시키는 것이 향후 과제로 사료된다.

참고문헌

- [1] 堀米 孝, "太陽光發電 の期待", 日本電氣學會誌, Vol. 112, No. 12, 1992.
- [2] 大野 降彦, "太陽光發電技術の歩み", 日本電氣學會誌, Vol. 112, No. 12, 1992.
- [3] Sakutaro Nonaka, "A Suitable Single-phase PWM Current Source Inverter for Utility Interactive Photovoltaic Generation System", JIEE, Vol. 114, No. 6. pp. 631-637, 1994.
- [4] Sakutaro Nonaka, " A Novel Single-phase Sinusoidal PWM Voltage Source Inverter and its Application for Residential Photovoltaic Power Generation System", JIEE, Vol. 115, No. 2, pp. 115-118, 1995.
- [5] 根葉 保彦, 東 眞喜夫, 作太郎, "系統連系太陽光發電システムの最大出力点追従制御", 平成7年日本電氣學會全國大會 講演論文集, No. 753, p. 124, 1995. 3.
- [6] 大西徳生, 古橋昌也, "太陽光發電 システム用多機能 PWMインバータ", 日本電氣學會論文集(D), Vol. 115, No. 8, pp. 969-977, 1995.
- [7] D. M. Bord and D. W. Novotny, "Current Control of VSI PWM Inverters", IEEE Trans. on ind. Appl., Vol. IA-21, NO. 4, pp. 769-775, 1984.
- [8] G. Franzo, M. Mazzucchelli, L. Puglisi, and G. Sciuotto, "Analysis of PWM Techniques using Uniform Sampling in Variable-speed Electrical Drives with Large Speed Range", in conf. Record of IEEE-IAS Annual Meeting, pp. 568-575, 1984.
- [9] 한전기술연구원, "소규모 계통선 연결형 태양광발전 시스템개발", KRC-89G-J08, pp. 149-151, 1992. 8.
- [10] S. Nonaka, K. Kesamaru, K. Yamasaki, et al, "Interconnection System with Sinusoidal Output PWM Current Source Inverter between Photovoltaic Arrays and the Utility Line," IPEC-Tokyo, pp. 144-151, 1990.
- [11] S. Nonaka, K. Kesamaru, K. Yamasaki & M. Nishi, "Inter connection System with Single Phase IGBT PWM CSI between Photo-voltaic Arrays and The Utility Line", Conf. Rec. of IEEE/IAS Annual Meeting(Seattle Washington), p. 1302, 1990
- [12] R. Itoh, D. Eng, "Steady-state and transient characteristics for a single way step-down PWM GTO Voltage-source converter with sinusoidal supply current", IEE PROCEEDINGS, Vol. 136, Pt. B, No 4, pp. 168~174, July 1989.
- [13] J. T. Boys, A. W. Green. BE, "Current forced single phase reversible rectifier", IEE PROCEEDINGS, Vol. 136, Pt. B, No 5, pp. 205~211, September 1989.
- [14] P. Verdelho, G. D. Marques, "Digital Simulation and applications of the PWM Voltage Converter connected to the AC mains", EPE, FIRENZE, No 4, pp. 438~443, 1991

- [15] I, Nagy, "Control Algorithm of A Three Voltage Sourced Reversible Rectifier", EPE, FIRENZE, No 3, pp. 287~292, 1991.

황 락 훈(Lark-Hoon Hwang)

[정회원]



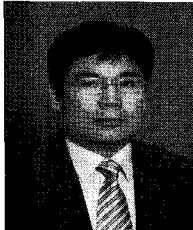
- 1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과(공학사)
- 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남전문대학(현 대덕대학) 전기과 조교수
- 1991년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

에너지 변환, 전동기 제어, 전력전자 응용분야, 반도체 시뮬레이션 등

나 승 권(Seung-Kwon Na)

[정회원]



- 1999년 2월 : 세명대학교 전기공학과(공학사)
- 2001년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과(공학박사)
- 1981년 7월 ~ 1988년5월 : 부산위생(한방)병원
- 1988년 5월 ~ 1994년 8월 : 한국수자원공사
- 1994년 8월 ~ 현재 : 한국 폴리텍 III 대학 원주캠퍼스 의용공학과 부교수

<관심분야>

의용공학 및 전력전자 응용분야 등