

계통 연계형 태양광 발전시스템의 전력변환기 제어에 관한 연구

나승권*, 구기준**, 김계국***

A Study on the Power Converter Control of Utility Interactive Photovoltaic Generation System

Seung Kwon Na *, Gi Jun Ku **, Gye Kuk Kim ***

요약

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 이용한 승압 초퍼와 전압형 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터인 전력변환기로 구성하였고, 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 원칩 마이크로프로세서에 의해서 처리하였다. 전력비교에 따라 시간 비율을 변화시키지만 태양전지는 전형적인 수하특성을 갖고 있어, 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력점을 추적하도록 승압초퍼를 제어하였다. 또한 PWM 전압형 인버터는 태양전지가 연속 발전할 수 없는 단점을 보완하기 위해 일반 상용전원과 연계함으로써 약 10~20[%] 전력절감효과를 얻을 수 있는 에너지절약 전원 복합형 전력변환장치로 구성하였다. 그리고 태양광 발전의 효율을 높이기 위하여 센서와 마이크로프로세서를 이용한 태양광 위치추적 장치를 설계하여 고정방식의 태양광 발전에 대하여 비교해 보았다. 그 결과, 태양광 위치추적 장치는 고정방식의 태양광 발전에 비해 5% 정도 개선됨을 알 수 있었다. 또한, PWM 전압형 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전하므로 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 하였다. 그리고 고역율과 저고조파 출력을 유지함으로써 부하와 계통에 전력이 안정하게 공급될 수 있도록 제어하였다.

Abstract

In this paper, a photovoltaic system is designed with a step up chopper and single phase PWM(Pulse Width Modulation) voltage source inverter. Where proposed Synchronous signal and control signal was processed by one-chip microprocessor for stable modulation. The step up chopper operates 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 because solar cell has typical voltage and current dropping character. The single phase PWM voltage source the inverter using inverter consists of complex type of electric power converter to compensate for the defect, that is, solar cell cannot be developed continuously by connecting with the source of electric power for ordinary use. It can 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. In order to enhance the efficiency of photovoltaic cells, photovoltaic positioning system using sensor and microprocessor was designed so that the fixed type of photovoltaic cells and photovoltaic positioning system were compared. In result, photovoltaic positioning system can

• 제1저자 : 나승권 교신저자 : 김계국

• 투고일 : 2008. 11. 18, 심사일 : 2008. 12. 06, 게재완료일 : 2009. 2. 19.

* 한국폴리텍Ⅲ대학 의용공학과 교수, ** 한림성심대학 정보통신네트워크과 교수, *** 강릉대학교 정보통신공학과 교수

improved 5% than fixed type of photovoltaic cells. In addition, I connected extra power to the system through operating the system voltage and inverter power in a synchronized way by extracting the system voltage so that the phase of the system and the phase of single-phase inverter of PWM voltage type can be synchronized. And, It controlled in order to provide stable power to the load and the system through maintaining high power factor and low output power of harmonics.

▶ Keyword : photovoltaic, solar cell, inverter, PWM(Pulse Width Modulation)

다.

I. 서론

최근의 태양전지를 비롯한 시스템의 저가격화 및 변환 효율의 개선이 진전됨에 따라 본격적인 전력시스템으로 실용화 보급이 확대되는 추세에 있다[1]-[4],[14].

이에 대한 대책으로 선진 각국에서는 대체 에너지 개발을 추진하고 있으며, 그 중에서도 신 에너지원으로서 무공해이며 무구한 태양에너지를 이용한 태양광발전시스템이 새로이 각광받고 있다. 태양광 발전시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 축전지 및 전력변환장치로 구성된다. 태양전지의 발전전력을 파워컨디셔너를 거쳐서 교류전력으로 변환하여 상용에 상시 접속하는 계통연계시스템, 태양전지와 파워컨디셔너의 중간에 축전지를 설치하여 독립전원으로 할 수 있는 독립전원시스템, 계통연계와 독립전원의 동작을 전환하는 계통연계 전환시스템이 있다. 또한 태양광 발전시스템의 태양전지에 출력은 직류이므로 계통과 연계하기 위해서는 인버터를 사용해서 직류를 교류로 변환할 필요가 있으며, 단위 역률을 갖는 정현파 전류 및 전압을 공급해 주어야 한다. 그리고 PWM(Pulse Width Modulation) 변조기는 동기신호인 계통 전압전압과형에 왜형 또는 노이즈 등의 외란 성분이 포함되어 있을 때에도 안정된 변조를 하여야 하며, 동기 신호와 제어 신호를 마이크로프로세서로 처리함에 있어서 샘플링 시점과 캐리어파의 사이에는 시간 차이가 존재하게 되어 그에 따른 보상법을 필요로 하게 된다[11]-[13].

본 연구에서는 계통 연계형 태양광 발전시스템을 전압형 인버터로 구성하여 전력비교에 따른 시간 비율을 변화시켜 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력점을 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 전압형 PWM 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전할 수 있도록 하였고

II. 계통 연계형 태양광 발전시스템

2.1 태양광 발전시스템의 구성

태양광 발전시스템의 구성은 일반적으로 시스템의 이용처, 부하의 종류, 시스템의 크기, 입지조건 등에 따라 다르지만 그 기본 구성은 다음과 같다. 태양전지 어레이는 태양전지 소자를 직·병렬로 연결하여 직접 DC전력을 발생하기 때문에, 직류부하인 경우에는 DC-DC 변환장치를 이용하여 가장 효율적인 전압으로 출력측에 축전지를 접속하여 사용한다. 또한 교류부하인 경우 DC-AC 변환장치가 필요하고 경우에 따라 축전지를 접속하며, 태양광 발전시스템에서는 일반적으로 일사조건과 부하 사용시간이 다르고 일사량 또한 시간에 따라 다르므로 발전된 전력을 저장할 수 있는 축전지를 갖는다.

DC-DC변환장치는 태양전지 출력이 일사량, 온도, 기타 주위환경 등에 따라 항상 최대전력점 전압 및 전류가 변하는 특성을 가지고 있다. 그러므로 승압형 초퍼, 강압형 초퍼, 승·강압형 초퍼의 듀티비를 제어하여 태양전지 출력이 항상 최대전력점에서 동작할 수 있도록 한다. 또한 DC-DC 변환기의 출력전압을 일정하게 유지하여 축전지나 부하로 공급해 주는 역할을 한다.

DC-AC 변환장치는 UPS, PWM컨버터, 무효전력 보상장치 등에 널리 이용되는 전파브리지 인버터 회로를 주로 사용하며 전압 및 주파수 조정기능을 갖고 있다. 태양광 발전시스템에서 이러한 인버터는 전체 시스템의 효율에 큰 영향을 미치므로 인버터의 스위칭 및 도통손실을 최소화시키고 동시에 인버터 출력단에 연결된 필터용량을 최소화시켜 무효전력에 의한 손실을 최소화해야 한다. 또한 상용전원과 연계하는 경우는 연계장치가 필요하다. 연계장치는 전력계통의 이상시에 태양광 발전시스템과 전환하는 보호제어장치가 필요하고, 또한 고조파 억제필터나 전력계통으로부터 서지의 방지 및 전력조류의 방향에 의해 전력량을 계량할 수 있는 전력량계 등이 필요하다.

시스템 구성방식은 태양전지 어레이에서 발전되는 직류전

력은 하루중의 일사량이나 기후조건에 따라 크게 변동하기 때문에 전원과 부하사이의 전력을 조화시킬 필요가 있으며 도서 및 시간벽지 등 특수 전원으로 사용하는 독립형 태양광 발전시스템과 상용전력계통과 연계하여 사용하는 계통 연계형 태양광 발전시스템으로 구분되며 용도별로 구분하면 주택용, 낙도전원용, 대규모 전력공급용 및 기타 특수용으로 분류된다 [22].

2.2 계통 연계형 태양광발전시스템

계통 연계형 시스템은 PV(photovoltaic) 모듈과 인버터를 직접 연결함으로써 PV모듈로부터 발생하는 직류전원과 계통선의 교류전원을 균형 있게 유지하여 AC부하에 전력을 공급하는 시스템이다. 이 시스템은 단방향 연결형과 양방향 연결형으로 구분할 수 있으며, 단방향 계통선 연결방식은 주택용, 공장용 전원 등으로 많이 이용되는 시스템으로서 단방향 계통선 연계형 인버터를 사용하여 부하측에 전력을 공급하며 축전지를 사용하지 않고 운전한다. 그리고 계통선에서는 태양 전지에서 공급되는 전력의 부족분만을 부하측으로 공급하는 시스템으로서 (그림 1)에 구성도를 나타내고 있다.

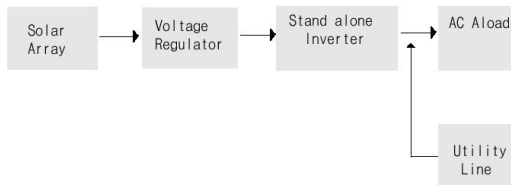


그림 1. 단방향 계통 연계방식의 구성도
Fig. 1. Block diagram of the one direction utility line connection type

(그림 2)는 양방향 계통선 연계방식으로 대용량 발전소의 경우나 주택용 전원 등에 이용하는 시스템으로 계통선 연계형 인버터를 직접 태양전지와 연결하여 PV모듈로부터 발생된 인버터출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 클 경우 그 잉여전력은 계통선으로 공급되며, PV모듈로부터 발생된 인버터 출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 적을 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급된다. 또한 독립형 시스템에서와 같이 고가의 축적설비가 필요없기 때문에 축전지의 충방전 손실이 없고 효율이 개선되는 장점을 가지고 있다. 그러나 계통 연계형 시스템에서 PV모듈의 발생전력은 인버터를 지나 계통선과 직접 연결되어 있기 때문에 인버터 발생 고조파와 유효전력과 무효전력의 동요는 직접 전력계통선에 영향을 미치게 된다. 계통

선에는 많은 시스템들이 연결되어 있고 시스템의 발생전력과 수요전력이 균등상태에 있다면 계통선에서의 문제들은 찾기가 매우 어렵다. 그러므로 안전성에 관련된 기술적인 문제들이 나타나게 되며, 이러한 기술적인 문제점 해결을 위해 태양 전지와 계통선 사이에 전기적인 절연이 필요하며, 시스템의 제어장치가 복잡해진다. 그러나 연계시스템은 보수가 없고 고가의 축적설비가 필요 없으며 시스템 효율이 높기 때문에 주택용 PV시스템으로 사용하기 위한 가장 이상적인 시스템 형태라 할 수 있다[22].

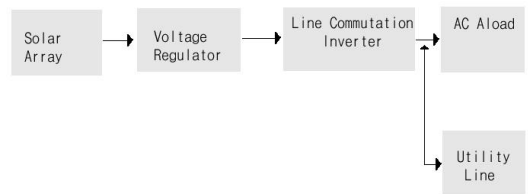


그림 2. 양방향 계통선 연계방식의 구성도
Fig. 2. Block diagram of the bidirection utility line connection type

2.3 태양전지의 특성

(그림3)은광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다. 이상적인 경우, 광 투사시의 전압·전류 관계는 식 (1)과 같이 된다.

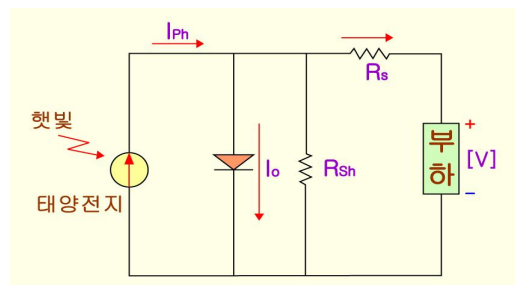


그림 3. 태양전지의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of solar cell

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

실제로는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 가 연결되어 (그림 3)과 같이 되고, 전류는 식 (2)와 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(v + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, I는 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_0 는 다이오드 포화 전류, n은 다이오드 상수, k는 볼츠만 상수, q는 전자 1개의 전하이며, 이를 전압·전류 특성곡선으로 나타내면 (그림 4)와 같이 된다.

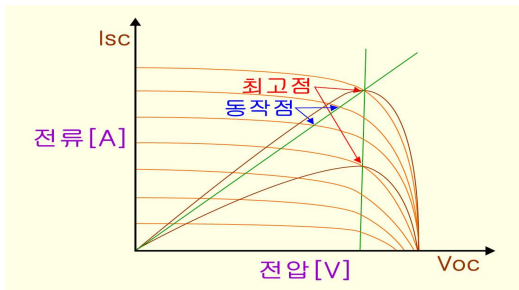


그림 4. 태양전지의 전압, 전류곡선
Fig. 4. Voltage and current of solar cell

(그림 4)에서 개방전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 곡선인자 FF(Fill Factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련 되는 파라미터로서, 우선 개방전압은 식 (3)과 같이 된다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \dots\dots\dots (3)$$

또한, 단락전류는 식 (4)와 같이 된다.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qIR_s}{nKT}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots (4)$$

태양전지의 곡선인자는 식 (5)로 정의된다.

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

여기서 V_m 은 태양전지의 최대출력전압, I_m 은 최대출력 전류이다.

(그림 5)는 일사량에 따른 태양전지의 출력의 변화를 보여 주고 있으며 일사량의 변화시 태양전지의 개방전압은 큰 변화가 없는 반면 출력전류가 크게 변화하고 있음을 알 수 있다.

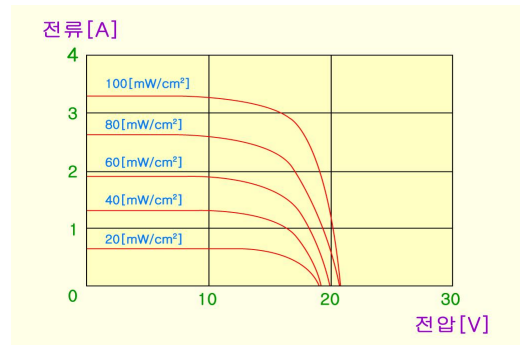


그림 5. 태양전지의 일사량에 따른 출력특성
Fig. 5. Output characteristics with varying radiation of solar cell

2.4 계통 연계형 전력변환기 구성

2.4.1. 계통연계 승압초퍼 회로

계통 연계형 인버터는 직류전원과 교류부하 사이의 전력을 균형있게 유지하기 위하여 상용계통을 이용하는데 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 계통선으로 공급된다. 따라서 태양전지나 연료전지와 같은 대체 에너지원으로부터의 직류전력을 저장하기 위해 비싸고 비효율적인 축전지를 사용할 필요 없이 야간이나 우천시에도 항상 부하에 전력을 공급할 수 있다. 또한 인버터 출력과 계통선 사이에 60[Hz] 절연 변압기를 설치하므로 직류 전원측 내부사고시 계통측으로의 직류분의 유출을 방지하도록 전기적인 절연을 행할 수 있으며 변압기 자체가 계통선으로 주입되는 고조파 전류를 허용치 이하로 낮추는데 직렬 임피던스 역할을 하므로 인버터와 계통선 전압의 인터페이스를 용이하게 해준다.

전류 제어기는 기본적으로 인버터의 전압방정식에 기초를 두어 s샘플링 포인트 $n+1$ 의 기준전류와 실제전류를 일치시키도록 인버터의 입력전압을 제어하는 방법을 사용하였으며, $i(n)$ 의 추정치 $i_M(n)$ 은 식 (6)으로 계산한다.

$$i_M(n) = i(n+1) + \frac{T}{L_s} \{v_M(n-1) - e(n-1) - R_s i(n-1) - j\omega L_s i(n-1)\} \dots\dots\dots (6)$$

또한, 실제의 인버터와 모델과의 사이에 파라미터에 의한 오차가 존재하는 경우에 전류의 과도응답 특성을 개선하기 위해 PI제어기를 이용하여 인버터 입력전압 $v_M(n)$ 을 식 (7)과

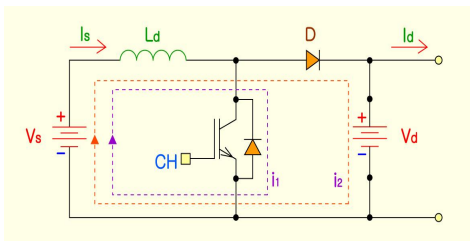
같이 보정한다.

$$\Delta v(n) = K_p \Delta i(n-1) = K_p \{i_r(n-1) - i(n-1)\} \dots\dots\dots (7)$$

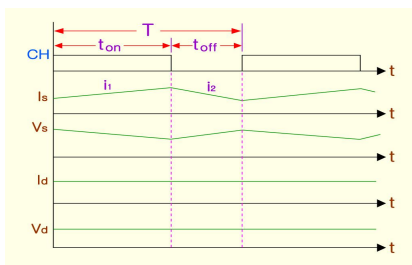
따라서, 실제 인버터의 입력전압 $v(n)$ 은 식 (8)에 의해 제어된다.

$$v(n) = v_M(n) - \Delta v(n) \dots\dots\dots (8)$$

(그림 6)은 독립형 전원시스템에서 태양전지로부터 인버터측 직류전력을 공급하는 승압초퍼회로와 동작파형이다. CH가 ON일 때는 $V_s - L_d - CH - V_s$ 의 경로로 전류 i_1 이 홀러 L_d 에 에너지를 축적하고, CH가 OFF일 때는 L_d 에 축적되었던 에너지와 태양전지의 출력이 직렬 연결되어 인버터 입력측에 전류 i_2 가 공급된다.



(a) 승압초퍼회로



(b) 동작파형

그림 6. 승압초퍼회로와 동작파형

Fig. 6. step up chopper circuit and operation waveform

2.4.2 PWM 전력변환기 회로

(그림 7)은 단상 PWM 전압형 인버터로서 태양전지와 계통연계할 수 있는 시스템을 나타내고 있다.

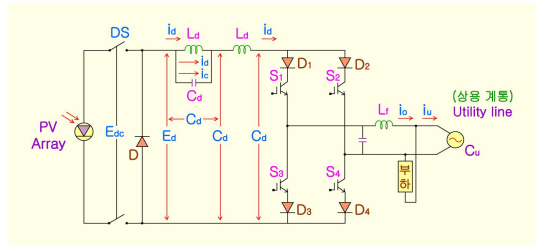


그림 7. 단상 PWM 전압형 인버터의 구성도

Fig. 7. System configuration of single phase PWM voltage source inverter

전력변환기는 강제전류방식의 구조, 또는 자기소호능력을 갖는 소자를 사용한 전압형의 변환기이다. 직류전압의 크기는 정의되지 않기 때문에 직류전압을 제어하는 기능이 필수적으로 마련되어야 한다. 또한 교류측의 역로도 정의되지 않기 때문에 무효전력을 발생시킬 수 있으며 무효전력량을 제어할 수 있는 특성을 갖고 있다.

전압형 전력변환기는 전압과 주파수 및 위상을 모두 제어할 수 있는 특징을 가지고 있다. 최근에 전력변환기술은 자기소호능력을 갖는 전력용 반도체소자의 개발과 전압형의 전력변환기를 제어하는 기술 분야로 집약되고 있다. 일반적으로 전압형의 전력변환기는 PWM의 기법으로 설계되어 사용하며 PWM의 방법은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 정현파 변조의 PWM 방법을 적용하였다.

PWM 전력변환기는 1대의 장치로 전압과 주파수를 동시에 변화시킬 수 있는 특징으로 전력변환기로 광범위하게 응용되고 있다.

2.4.3 시스템 등가회로 및 해석

계통연계시 인버터 시스템의 등가회로는 (그림 8)과 같고, 식 (9)을 만족한다.

$$E_i = E_L + E_u \dots\dots\dots (9)$$

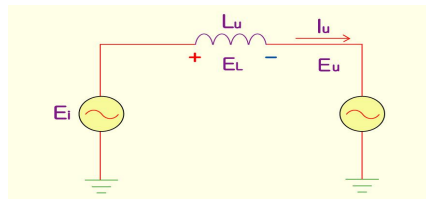
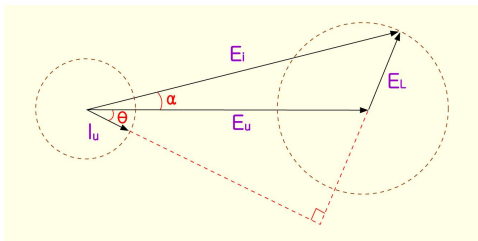
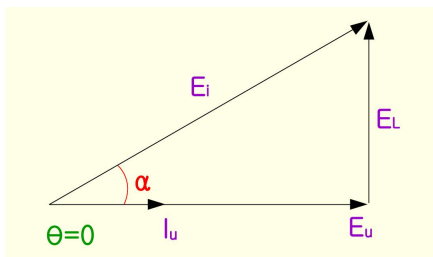


그림 8. 인버터 시스템의 등가회로

Fig. 8. Equivalent circuit of inverter system



(a) 단위 역률이 아닐 경우



(b) 단위 역률일 경우

그림 9. 시스템의 페이저도
Fig. 9. Phasor diagram of system

(그림 9)(a)는 I_u 가 E_u 보다 임의의 위상각 θ 만큼 지상인 경우이며, (그림 9)(b)는 단위역률을 만족하기 위한 페이저도로서 I_u 는 식(10)과 같이 된다.

$$I_u = \frac{E_L}{j\omega L_u} = \frac{E_i}{j\omega L_u} \sin\alpha \dots\dots\dots (10)$$

(그림 9)(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 제어각 α 를 동시에 제어할 필요가 있다. 시스템이 단위역률로 제어되고 있는 경우의 관계식은 식 (10)에 나타내었고, 계통측으로 흐르는 전류 I_u 는 리액턴스 전압 E_L 에 비례함을 알 수 있다.

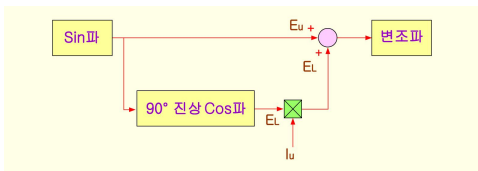


그림 10. 기준파 발생을 위한 제어 블록도
Fig. 10. Control block diagram for reference wave generation

고역률을 유지하기 위한 변환기의 제어방법은 (그림 10)과 같으며, 계통전압 E_u 와 일치하는 \sin 파를 발생시키고, 이와 90° 의 위상차를 갖는 \cos 파를 발생시켜 제어에 필요한 값인 기준파로 설정하며, 설정된 기준전류 I_u 에 의하여 인버터 출력 측 전압을 제어하여 (그림 9) (b)는 페이저도의 단위 역률일 경우 고역률 운전과 DC/AC 전력변환이 이루어지게 된다.

2.5 변조지연 원인 및 보상방법

마이크로프로세서에 의한 PWM 신호 발생시 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 출력하는 δ 만큼의 시간 지연이 생기게 되며, 이로 인하여 인버터 출력측과 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 계통전압의 노이즈 성분을 제거하고, 위상지연 (Shifter)을 이용하여 PWM 파형의 지연 시간을 보상할 수 있도록 한, 변조지연 보상을 위한 흐름도를 (그림 11)에 나타내었다.

$$\tau_1 = \left(\tan \frac{\pi}{3} \right) / \omega, \quad \tau_2 = \left(\tan \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\delta}{2} \right) \right) / \omega, \quad \tau_3 = \left(\tan \frac{\pi}{4} \right) / \omega$$

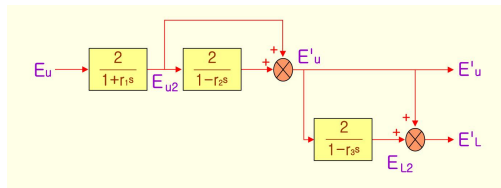


그림 11. 변조지연 보상을 위한 흐름도
Fig. 11. Flow chart for modulation delay compensation

(그림 12)는 변조지연 보상을 기준파 발생기의 벡터도로서 계통전압의 동기신호인 E_u 는 저역통과필터 및 위상지연을 거쳐 변조지연각 δ 을 보상하여 전압의 크기는 같고, 위상은 δ 만큼 앞서는 기준 정현파 E_u' 을 만든다. 기준파 E_u' 와 90° 의 위상차를 갖는 기준 리액턴스 전압 E_L' 을 입 · 출력 전달함수에 의해서 벡터도를 나타낼 수 있다.

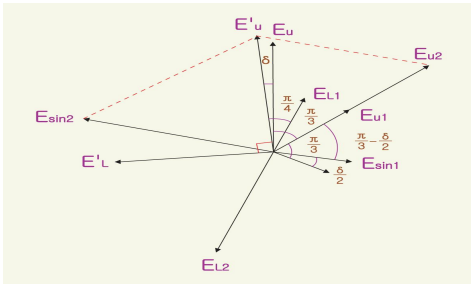


그림 12. 기준파 발생기의 벡터도
Fig. 12. Vector diagram of reference wave generator

2.6 시스템 적용 제어기 구성

(그림 13)은 PV(Photo-Voltaic) 시스템에 적합한 계통 연계형의 인버터 회로로서 태양전지가 최대 출력 점에서 동작할 때 승압초퍼의 출력전압인 직류전압은 인버터에 의해 교류 전압으로 변환되며 부하 및 계통측으로 전류를 공급한다. 계통 측으로 흐르는 전류는 리액터 양단의 전압에 의해서 결정된다.

인버터가 계통선의 유효전력만을 공급하기 위해서는 리액터에 흐르는 전류가 계통전압과 동상이면 되고 그 크기는 인버터 출력단 전압의 위상을 제어함으로써 가능하게 된다.

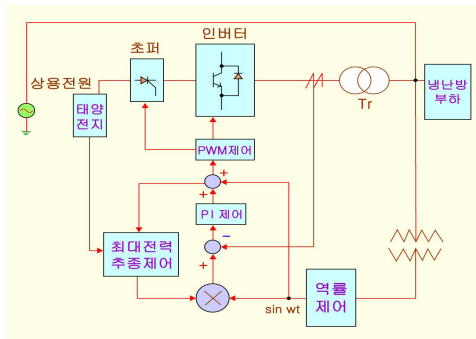


그림 13. 태양광 계통연계형의 병실 냉·난방 시스템
Fig. 13. Air conditioner a clinic room of interactive PV system.

III. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션 결과 및 고찰

태양전지로부터 출력된 직류전압을 승압시키기 위해서 승압초퍼를 사용하였으며 각 회로에 의해 동작되고 있는 상태를 실제값보다 1/2감소하여 시뮬레이션을 하였다. 본 논문에서는 태양광 발전 시스템과 단상 PWM 전압형 인버터로 구성

하였다. 태양전지 모듈은 최대출력전력 50[W], 개방전압 160[V], 단락전류 2[A]이며, 20셀(cell)을 직·병렬 연결한 태양전지 어레이를 사용하였다. 계통전압과 출력전류를 고역률로 유지하기 위해서 PWM신호를 발생할 때까지 생기는 지연시간 δ 를 계통전압을 A/D 변환하여 필터와 위상 지연을 사용하여 보상하고, 계통전압과 출력전류를 검출하여 위상차를 가감함으로써 고역률을 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 주 회로 부분이 차단되도록 하였다.

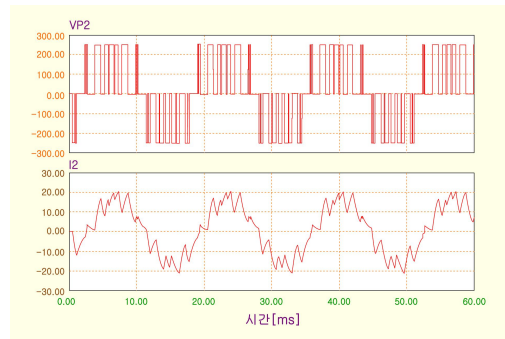


그림 14. 인버터 출력전류 시뮬레이션 파형
Fig. 14. Simulation waveform of Inverter output current

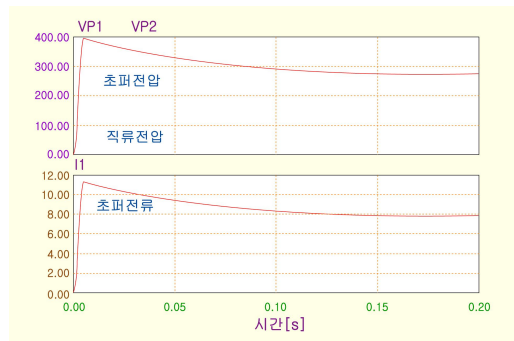


그림 15. 승압초퍼의 전압 전류 시뮬레이션
Fig. 15. Simulation of step up chopper voltage and current

인버터 회로의 시뮬레이션 과정을 (그림 14)에 나타내었으며 승압초퍼 부분의 시뮬레이션을 Pspice와 PSIM을 이용하였고, 실제 동작값으로 시뮬레이션 한 결과를 (그림 15)에 나타내었고, 실제 동작값 보다 낮은 상태로 시뮬레이션 한 결과를 (그림 16)에 나타내었다.

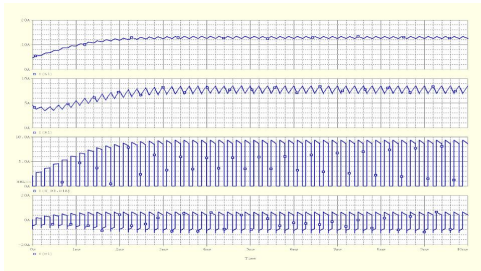


그림 16. 초퍼 게이트신호 및 출력전류파형 시뮬레이션
Fig. 16. Simulation waveforms of chopper gate signal and output current

시정수를 5ms~10ms를 이용하여 시뮬레이션 한 결과 (그림 17)과 (그림 18)에 나타내었으며 양호한 시뮬레이션이 된 것으로 확인할 수 있다.

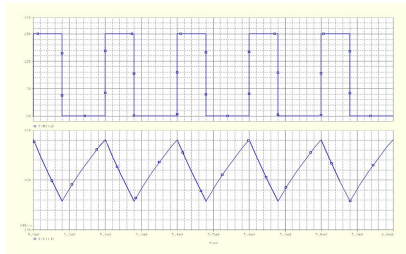


그림 17. 초퍼 게이트 신호와 출력전압 시뮬레이션
Fig. 17. Simulation waveform of chopper gate signal and output voltage

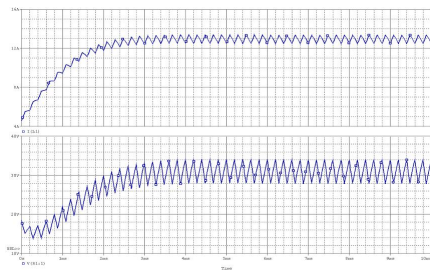


그림 18. 초퍼 입력 전류와 출력전압 시뮬레이션
Fig. 18. Simulation waveform of input current and output voltage with chopper

3.2 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 <표 1>의 회로정수를 이용하여 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

표 1. 회로정수
Table 1. Parameter of circuit

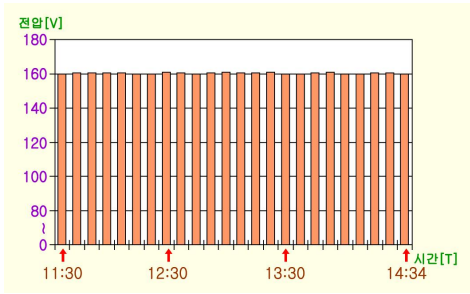
계통전압		220(V)/380(V)
직류리액터		50(mH)
병렬공진	리액터	8(mH)
	콘덴서	220(μF)
필터	리액터	5(mH)
	콘덴서	2(μF)
변조비		0.85
주파수	반송파	4(KHz)
	변조파	60(Hz)
태양전지	개방전압	160(V)
	단락전류	2(A)

또한, 본 연구에서 시스템 구성은 태양전지 어레이(array) 12개를, 직·병렬 4x5로 구성하였고 1개의 모듈(module)은 최대 50(W), 개방전압 160(V), 단락전류 2(A) 정도를 사용하였다. 태양전지 어레이로부터 출력되는 직류 전압은 승압 초퍼에서 승압된 후에 단상 PWM 인버터에서 교류 전력으로 변환되게 구성하였다. 이와 같은 시스템을 구성하여 동작시킨 결과의 출력 전압, 전류의 측정 상태를 <표 2>에 나타내었고, 측정된 그래프를 (그림 19)에 나타내었다.

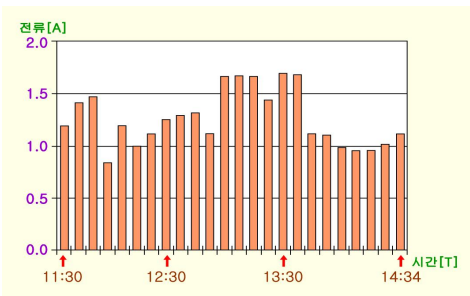
표 2. 측정된 개방전압 및 단락전류 데이터
Table 2. Open circuit voltage and short circuit current data

	개방 전압(V)	단락 전류(A)		개방 전압(V)	단락 전류(A)
1	100.2	1.20	13	100.6	1.68
2	100.6	1.42	14	100.6	1.67
3	100.4	1.48	15	100.8	1.45
4	100.6	0.84	16	100.2	1.70
5	100.4	1.20	17	100.2	1.69
6	100.0	1.00	18	100.6	1.12
7	100.2	1.12	19	100.8	1.11
8	100.8	1.26	20	100.0	0.99
9	100.6	1.30	21	100.0	0.96
10	100.0	1.32	22	100.6	0.96
11	100.4	1.12	23	100.6	1.02
12	100.8	1.67	24	100.0	1.12

또한, R-L 부하를 걸고 동작시킨 경우 직류전압 100(V)일 때 변환된 교류 전력의 출력 상태를 (그림 20)에 나타내었다. 단상 PWM 인버터를 사용하여 최대한의 고조파를 줄일 수 있었고 양호한 정현파 파형이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.



(a) 개방전압 측정값



(b) 단락전류 측정값

그림 19. 개방전압 및 단락전류의 측정값

Fig. 19. Measurement value of open circuit voltage and short circuit current

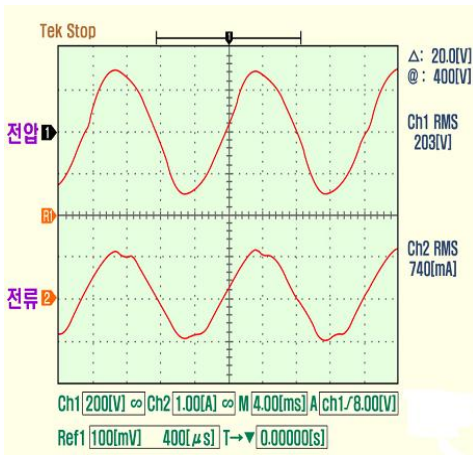


그림 20. 인버터의 출력전압, 전류파형(R-L부하시)

Fig. 20. Output voltage and current waveforms of Inverter. (at R-L Load)

(그림 21)은 위와 같은 조건에 의해 L 부하(일반 건물과 병원 내 온도 및 습도센서와 냉난방 기구의 15(W)선풍기, 53(W) 선풍기, 전등부하 180(W), 냉난방 기구(라디에이

터) 1[KW]에 적용) 만을 사용한 경우, 출력전압과 전류를 측정한 결과를 나타내었다. 출력전류에 비교적 낮은 고조파 함유를 가지고 양호한 파형을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

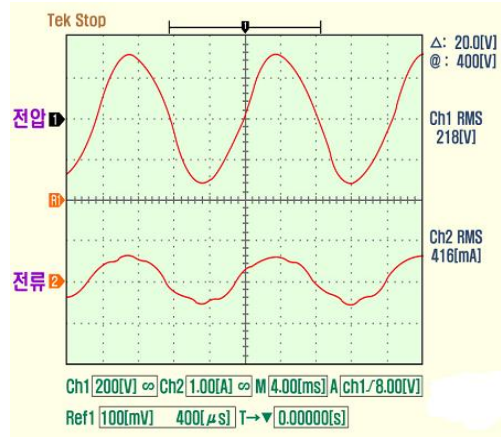


그림 21. 인버터의 출력 전압, 전류 파형(L 부하시)

Fig. 21. Output voltage and current waveforms of Inverter. (at L load)

(그림 22)는 같은 조건하에서 R-L 부하 시 출력되고 있는 전압, 전류 그리고 출력전력 상태를 나타내고 있다. 고조파 함유량이 감소된 경우라서 매우 양호한 전력을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

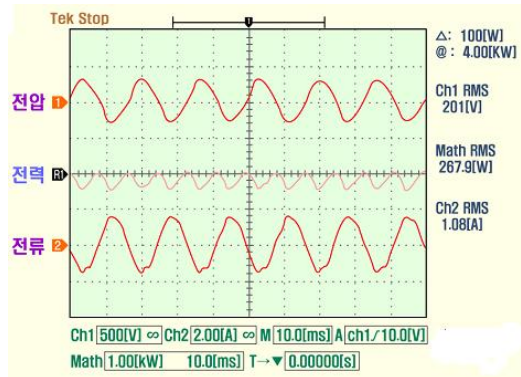


그림 22. 인버터의 출력 전압, 전류 및 전력 파형

Fig. 22. Output voltage, current and power waveforms of Inverter

한편, 태양광 발전에는 어레이를 어떻게 설치하느냐에 따라 고정방식과 위치추적방식이 있다. 고정방식은 태양광 발전 설비가 태양 고도각과 일조량 등을 종합적으로 분석하여 가장

적절한 각도와 방위로 고정을 시켜놓은 것이며, 태양광 위치추적 방식은 태양의 고도에 따라 솔라셀의 각도가 변화하는 것을 말한다. (그림 23)은 고정 방식과 위치추적 방식의 태양광 발전으로 각각 나누어 설치한 다음 시간에 따른 태양광 어레이의 출력을 6시부터 18시까지 15분 간격으로 측정을 하여 그래프로 나타낸 것이다. 6시~10시, 17시 이후에 태양광 위치추적 방식이 고정 방식에 비해 더 많은 전압을 출력하고 있음을 알 수 있으며 11시부터 12시반 사이에 환경적인 요인에 의해 출력이 변화가 있음을 알 수 있다. 따라서 태양광 위치추적 장치가 양호한 위치추적을 보이고 있으며, 고정 방식에 비해 더욱 많은 집광을 하여 전체 발전량에서 5[%] 정도 개선됨을 알 수 있었다. 이를 통하여 태양광 위치추적 장치가 태양광 발전에 보다 높은 효율 향상에 기여했음을 알 수 있다.

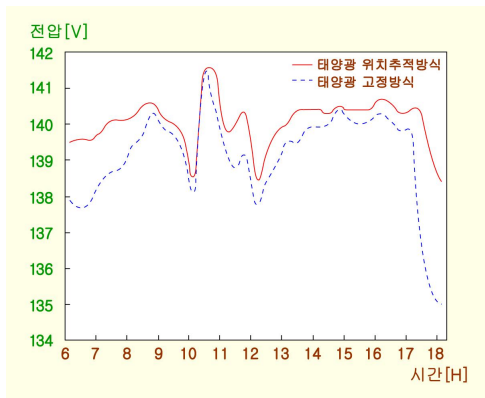


그림 23. 시간에 따른 태양광 어레이의 전압측정
Fig. 23. Voltage measurement with solar cell array according time.

VI. 결론

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 이용한 승압 초과와 전압형 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터인 전력변환기로 구성하였고, 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 원칩 마이크로프로세서에 의해서 처리하였다. 전력비교에 따라 시간 비율을 변화시키지만 태양전지는 전형적인 수하 특성을 갖고 있어, 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력점을 추적하도록 승압초과를 제어하였다. 또한 PWM 전압형 인버터는 태양전지가 연속 발전할 수 없는 단점을 보완하기 위해 일반 상용전원과 연계함으로써 약 10~20[%] 전력감소효과를 얻을 수 있는 에너지절약 전원 복합형 전력변환 장치로 구성하였다. 그리고 태양광 발전의 효율을 높이기 위

하여 센서와 마이크로프로세서를 이용한 태양광 위치추적 장치를 설계하여 고정방식의 태양광 발전에 대하여 비교해 보았다. 그 결과, 태양광 위치추적 장치는 고정방식의 태양광 발전에 비해 5% 정도 개선됨을 알 수 있었다. 또한, PWM 전압형 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전하므로 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 하였다. 그리고 고역율과 저고조파 출력을 유지함으로써 부하와 계통에 전력이 안정하게 공급될 수 있도록 제어하였다.

참고문헌

- [1] Sakutaro Nonaka, "A Suitable Single-phase PWM Current Source Inverter for Utility Interactive Photovoltaic Generation System," *JIEEE*, Vol. 114, No. 6, pp. 631-637, 1994.
- [2] Sakutaro Nonaka, "A Novel Single-phase Sinusoidal PWM Voltage Source Inverter and its Application for Residential Photovoltaic Power Generation System", *JIEEE*, Vol. 115, No. 2, pp. 115-118, 1995.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] G. Franzo, M. Mazzucchelli, L. Puglisi, and G. Sciotto, "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.
- [7] 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.
- [8] S. Nonaka, K. Kesamaru, K. Yamasaki & M. Nishi, "Interconnection 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

[9] 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.

[10] 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

[11] L.H.Hwang, "A Study on Synchronized AC Power Source Voltage Regulator of Voltage Fed Inverter using a Photovoltaic effect" IEEK, Vol. 38, No. 8, 1998.

[12] Byung-Hwan Jeong, Byung-Hee Kang, Gyu-Ha Choe, "Virtual -Implemented Solar Cell System with new Cell Model", IEEE34th Annual Power Electronics Specialist Conference, Vol. 3, pp.736-740, 2003.

[13] Y.S Kong, E.S. Kim, I.G. Hwang, H.K. Lee "High-Efficiency Series-Parallel Resonant Converter For the Non-contact Power Supply", IEEE-APEC2005, VOL3,pp.1496-1501, 2005.

[14] 안교상, 임희천, 황인호, "3상 계통형 태양광 발전시스템의 출력특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 PP.1171-1173, 2000.

[15] 이정일, 윤정필, 윤희욱, 윤형상, 차인수, "온도보정계수를 고려한 태양광발전 운전특성연구" 전력전자학술대회 논문집 63~66쪽, 2001.

[16] 김대균, 전기영, 함년근, 정춘병, 이승환, 오봉환, 이훈구, 한경희 "PWM컨버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템" 대한전기학회 논문집 54-3-1. 2005.9.

[17] 강기환, 유권중, 박경은, 한득영, 안형근, "태양전지모듈 제조를 위한 요소기술연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B 권, 1365-1367쪽, 2003.7.

[18] 이상훈 "계통연계형 멀티레벨 인버터를 이용한 고효율 태양광 발전시스템" 부산대학교 대학원 박사 논문, 2006.2.

[19] 한전기술연구원, "소규모 계통선 연결형 태양광발전 시스템개발", KRC-89G-J08, 149-151쪽, 1992. 8.

[20] 박중현, 장재열 "능동 현가장치에의 지능형 제어시스템 적용에 관한 연구", 한국컴퓨터정보학회논문지, 제12권, 제3호, 287-293쪽, 2007년

[21] 이말레, "비선형 제어 시스템을 위한 진화 알고리즘과 퍼

지 제어기와의 결합", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제1권, 제1호, 159-170쪽, 1996년

[22] <http://cupel.chosun.ac.kr/pvs.htm>

저 자 소 개



나 승 권(Seung-Kwon Na)
 1999년 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
 2001년 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
 2008년 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
 1981년 7월 ~1988년 5월 : 부산 위생(한방)병원
 1988년 5월 ~1994년 8월 : 한국수자원공사
 현재 : 한국 폴리텍 III 대학 원주캠퍼스 의용공학과 부교수
 관심분야 : 의용공학 및 전력전자 응용분야 등



구 기 준(Ku gi jun)
 1983년 : 단국대학교 공학사(전자공학)
 1988년 : 한양대학교공학석사(전자공학)
 1996년 : 숭실대학교 공학박사(전자공학)
 현재 : 한림성심대학 정보통신네트워킹과 교수
 관심분야 : 통신 및 신호처리



김 계 국(Kim Gye Kuk)
 1983년 : 원광대학교 전자공학과 졸업 공학사
 1990년 : 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업
 1985년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 현재 : 강릉대학교 정보통신공학과 교수
 관심분야 : 안테나 및 초고주파회로