

하이브리드 시스템의 ESS를 이용한 기상변화의 파장별 LED 항공유도등 동작특성

The Operation Characteristic of the LED Taxi Light for Wavelength According to Meteorological Changes for Hybrid System Using a ESS

황 락 훈* · 김진선 · 나용주
세명대학교 전기공학과

Lark-Hoon Hwang* · Jin-Sun Kim · Yong- Ju Na

Department of Electrical Engineering, Semyung University, Chungcheongbuk-do 27136, Korea

[요 약]

본 논문에서는 태양광과 풍력을 조합한 하이브리드 발전시스템을 이용하여 승압 초퍼와 PWM (pulse width modulation) 전압형 인버터인 전력변환기로 구성하였고, 또한 PWM 전압형 인버터는 태양전지가 연속 발전할 수 없는 단점을 보완하기 위해 일반 상용전원과 연계하고 에너지저장장치 (ESS; energy storage system)를 상시 운영하여 공항의 기상 변화에 따른 파장별 LED 항공 유도등을 효율적으로 운용하는 시스템을 구성 하였다. 태양전지에 대한 특성 해석과 수학적 모델링을 통한 시뮬레이션을 행하여 태양전지 특성 사양과 비교하였고, PWM 전압형 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전하므로 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 하였으며 공항의 활주로, 항공 유도등에 적용하여 양호한 동특성을 얻을 수 있는 제어회로를 동시에 개발하여 항공유도등의 다양성을 추구할 수 있음을 확인 하였다.

[Abstract]

In this study, the system was composed of the booster chopper and the power converter, which is a pulse width modulation (PWM) voltage inverter using a hybrid power generation system solar cell energy and wind force, Furthermore, in order to compensate the PWM voltage type inverter was linked with the general commercial power source, and through a normal operation of energy storage system (ESS), the system operated the LED Taxi Light by Wavelength according to Meteorological Changes at the airport in an efficient manner. The performance of the system was compared with the solar cell characteristics specification. In addition, for phase synchronization with the PWM voltage type inverter, the grid voltage was detected so as to operate the grid voltage and inverter output in the same phase and to connect the surplus electric power with the system. Finally, by developing a control circuit at the same time from which an excellent dynamic characteristics can be obtained through applying to the airport runway taxi light, it was concluded that a variety of taxi light can be pursued.

Key word : Booster chopper, Pulse width modulation, Hybrid power, Energy storage system, Taxi light.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.4.265>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 16 June 2016; Revised 20 July 2016
Accepted (Publication) 29 August 2016 (30 August 2016)

*Corresponding Author; Lark-Hoon Hwang

Tel: +82-10-5487-5525

E-mail: lhwang@semyung.ac.kr

1. 서론

무한하고 깨끗한 대체 에너지원인 태양에너지를 이용한 태양광 발전 방식은 기존에너지 자원을 대신할 수 있는 대체 에너지 분야에서 각광을 받고 있으며, 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 최초의 새로운 에너지 자원은 태양열 변환방식이 국부적으로 이용되어 왔으나 전력용 반도체 소자의 개발과 함께 태양열에 의한 광 반도체 발전소자 및 반도체 전력변환장치에 의한 직접 발전방식이 주목받기 시작하였다. 이에 대한 흐름으로 선진 각국에서는 대체 에너지 개발을 추진하고 있으며, 그 중에서도 신 에너지원으로서 무공해이며 무한한 태양에너지를 이용한 태양광 발전시스템이 새로이 각광받고 있다[1]. 또한 태양광 발전시스템의 태양전지의 출력은 직류이므로 계통과 연계하기 위해서는 인버터를 사용해서 직류를 교류로 변환할 필요가 있으며, 단위역률을 갖는 정현파 전류 및 전압을 공급해 주어야 한다. 그리고 PWM 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 캐리어파와의 사이에는 시간 차이가 존재하게 되어 그에 따른 보상법을 필요로 하게 된다.

태양광과 풍력을 조합한 하이브리드 발전시스템 계통 연계형은 태양전지의 출력이 부하의 수요에 비해 부족할 경우는 부족분을 전력계통으로부터 수전하고, 잉여출력이 있는 경우는 잉여분을 계통 측에 공급하는 것이다. 따라서 시스템과 전력계통은 상호 밀접한 관련이 있으며 태양광 발전시스템의 계통연계 시 시스템 출력변동, 고주파 발생 등으로 인한 계통전력품질, 전압변동, 그 외에 단독운전에 대한 대책이 요구된다[2].

본 논문에서는 태양광과 풍력을 조합한 하이브리드 발전시스템을 이용하여 승압 초퍼회로와 PWM 전압형 인버터인 전력변환기를 구성하였고, 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 원칩 마이크로프로세서에 의해서 처리하였다. 전력비교에 따라 시비율을 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 연계하고 에너지저장장치(ESS)를 상시 운영하여 공황의 기상 변화에 따른 과장별 LED 항공 유도등을 효율적으로 운용하는 시스템을 구성하였다[3].

II. 하이브리드 계통 연계형 발전시스템

2-1 계통연계 승압 초퍼 회로와 전압형 인버터

계통 연계형 인버터는 직류전원과 교류부하 사이의 전력을 균형 있게 유지하기 위하여 상용계통을 이용하는데 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 부족할 경우, 부족한 전

력은 자동적으로 상용계통에서 공급되며, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 클 경우 그 잉여전력은 계통 선상의 다른 부하에 공급하기 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 계통선 사이에 60 Hz 절연 변압기를 설치하므로 직류 전원 측 내부사고시 계통 측으로의 직류분의 유출을 방지하도록 전기적인 절연을 행할 수 있으며 변압기 자체가 계통 선으로 주입되는 고조파 전류를 허용치 이하로 낮추는데 직렬 임피던스 역할을 하므로 인버터와 계통선 전압의 인터페이스를 용이하게 해준다.

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

$$i_M(n) = i(n+1) + \frac{T}{L_s} \left\{ \begin{matrix} v_M(n-1) - e(n-1) \\ -R_s i(n-1) - j\omega L_s i(n-1) \end{matrix} \right\} \quad (1)$$

또한, 실제의 인버터와 모델과의 사이에 파라미터에 의한 오차가 존재하는 경우의 전류의 과도응답 특성을 개선하기 위해 PI 제어기를 이용하여 인버터 입력전압 $v_M(n)$ 을 식 (2)와 같이 보정한다.

$$\Delta v(n) = K_p \Delta i(n-1) = K_p \{i_r(n-1) - i(n-1)\} \quad (2)$$

그림 1은 독립형 전원시스템에서 태양전지로부터 인버터 측에 직류전력을 공급하는 승압초퍼회로와 동작파형이다. CH가 ON일때는 $V_s - L_d - CH - V_s$ 의 경로로 전류 i_1 이 흘러 L_d 에 에너지를 축적하고, CH가 OFF일때는 L_d 에 축적되었던 에너지와 태양전지의 출력이 직렬 연결되어 인버터 입력 측에 전류 i_2 가 공급되며, 단상 전압형 인버터로서 태양전지와 계통연계 시킬 수 있는 시스템이다.

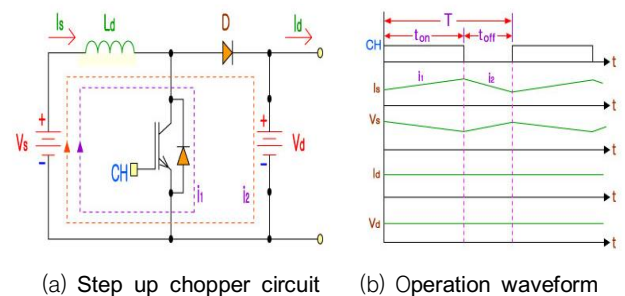


그림 1. 승압초퍼회로(a)와 동작파형(b)
 Fig. 1. Step up chopper circuit (a) and operation waveform (b).

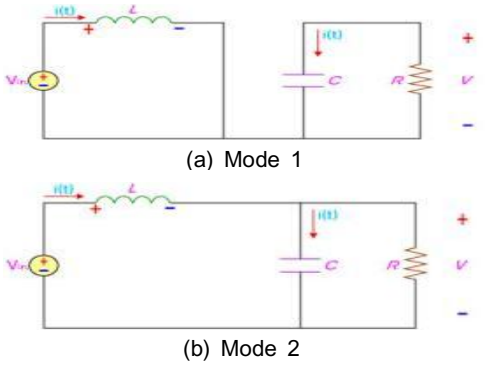


그림 2. 부스트 컨버터의 동작 모드 1(a)과 모드 2(b)

Fig. 2. Mode 1 (a) and mode 2 (b) for operation of boost converter.

그림 2와 같이 DC 전원을 이용하는 경우 대부분 전압을 증압할 수 있는 부스트(boost) 컨버터를 이용한다. 전력(power) LED의 경우 일정한 광속과 발열을 통한 소자의 파손을 막기 위하여 정 전류 구동방식을 선택한다[4][5]. 부스트 컨버터의 동작은 그림 2와 같다.

Mode 1은 스위치가 턴 온 (turn-on)상태로 입력전원이 인덕터 양단에 전류 충전이 이루어지며 mode 2는 스위치가 턴 오프 (turn-off)되면서 충전된 전류가 부하 측 필터로 전달된다. 부스트 컨버터의 변환비는 식(3)과 같다.

$$M(D) = \frac{1}{(1-D)} \tag{3}$$

식 (3)과 같이 부스트 컨버터의 출력 식을 얻을 수 있으며 식 (4)와 같다.

$$V_o = \frac{1}{D} V_{\in} = \frac{1}{(1-D)} V_{\in} \tag{4}$$

부스트 컨버터는 통전비 (duty ratio)가 커질수록 인덕터 전류가 커져 효율이 감소하게 된다.

2-2 PWM 전력변환기회로

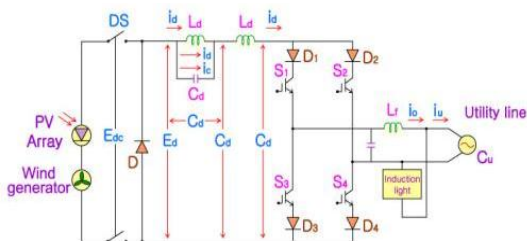


그림 3. 단상 PWM 인버터
Fig. 3. Single phase PWM inverter.

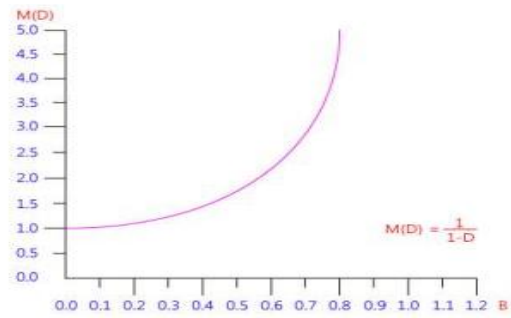


그림 4. 변환비 대 통전비 관계곡선
Fig. 4. The relationship of conversion ratio vs duty ratio.

그림 3은 단상 전압형 인버터로서 태양전지와 풍력발전기 계통연계 시킬 수 있는 시스템으로 식 (5)와 같다.

$$V_o = \frac{1}{D} V_{\in} = \frac{1}{(1-D)} V_{\in} \tag{5}$$

본 연구에서는 그림 3과 같은 회로에 정현파 변조의 PWM방법을 적용하였다. PWM 전력변환기는 1대의 장치로 전압과 주파수를 동시에 변화시킬 수 있는 특징으로 전력변환기로 광범위하게 응용되고 있다[6]. 직류에서 교류, 교류에서 직류 변환에 있어서 주파수와 전압의 가변을 동시에 다루어야 하지만 우선 전압을 변화시키는 원리를 설명한다. 부하에 가해진 전압의 유무에 대한 비율, 또는 정(+)또는 부(-)의 전압이 가해진 시간적인 비율에 비례하는 평균전압이 되므로 전력용 반도체 스위치에 의한 전압의 가변은 스위치들의 통전 기간에 따르게 된다 [7].

부스트 컨버터는 통전비가 커질수록 인덕터 전류가 커져 효율이 감소하게 된다. 통전비에 대한 변환비의 그래프는 그림 4와 같이 된다.

그림 5는 (a)와 (b)는 전력변환기의 1상의 회로 및 통전 상태에 따른 출력전압으로 (a)에서 스위치 S1과 S2는 서로 반대로 온, 오프 상태로 동작하도록 되어 있으며 (b)에서 S1이 통전할 때는 S2는 오프 상태로 되는 회로이다.

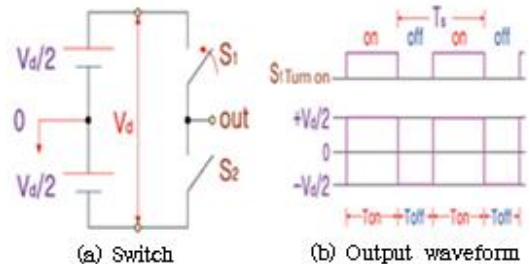


그림 5. 스위치의 상태에 따른 출력 파형
Fig. 5. Output waveform of switch state.

그림 5의 (a)에서 스위치 주기에서 출력의 평균전압은 전원의 기준점(0 전위점)에 대하여 1주기 평균을 계산하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_{out} dt \\
 &= \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{T_{off}} \frac{-V_d}{2} dt + \int_{T_{off}}^{T_s} \frac{V_d}{2} dt \right) \\
 &= \frac{V_d}{2T_s} (T_{on} - T_{off}) = V_d \left(-\frac{1}{2} + \frac{T_{on}}{T_s} \right) \quad (6)
 \end{aligned}$$

2-3 계통 연계형 전력변환기 PI 제어기법

계통 연계 시 인버터 시스템의 등가회로는 그림 6과 같고, 식 (7)을 만족하게 된다.

$$E_i = E_L + E_u \quad (7)$$

PI 제어기에 의하여 리액터 양단의 전압을 제어하여 목적한 크기의 전류가 흐르도록 하는 식은 (8)과 같다.

$$V_L = V - E = XI^* + \left(\frac{ki}{s} + kp \right) (I^* - I) \quad (8)$$

전력변환기의 교류 측 전압은 직류전압과 PWM 변조율에 의하여 자유롭게 변화시킬 수 있으므로 식 (9)와 같다.

$$E = (V - XI^*) - \left(\frac{ki}{s} + kp \right) (I^* - I) \quad (9)$$

식 (9)에서 우변 제1항은 전원전압에서 리액턴스 강하를 뺀 전압이므로 정상상태에서 전력변환기의 전압벡터를 의미한다. 우변 제2항은 PI제어기의 동작으로 설정한 전류가 되도록 리액턴스의 전압을 제어한다. 식 (9)에서 우변 제2항에 의한 전류제어로 불평형 보상이 이루어진다. 비례 제어는 정지 좌표계에서 연산하고 적분제어는 정상분과 역상분을 분리하여 각각 반대 방향으로 회전하는 두 개의 회전 좌표계에서 식 (10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} e_{vd} \\ e_{vq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X i_q^* \\ V_q \end{bmatrix} \quad (10)$$

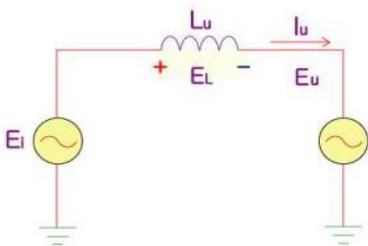


그림 6. 시스템 등가회로
Fig. 6. Equivalent circuit of system.

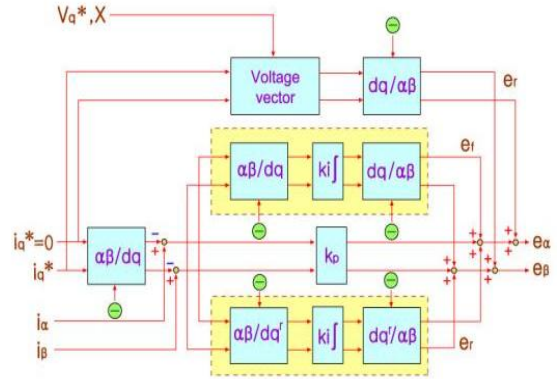


그림 7. 전류제어 블록도
Fig. 7. Block diagram of current control.

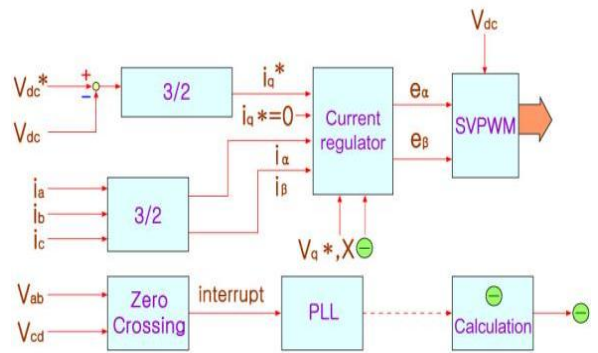


그림 8. 인버터 제어 블록도
Fig. 8. Block diagram of inverter control.

그림 7은 식 (9)에 의한 전류제어로 구성된 제어 블록도이다. 그림 7의 블록도에서 e_v 는 전류오차 ($I^* - I$)를 입력으로 한 역상회전 좌표계에 대한 PI 제어기의 출력이다[8].

e_{α} , e_{β} 는 정상상태의 벡터를 포함하고 정상분과 역상분을 보상하는 최종 출력이며 전력변환기를 구동하는 신호가 된다. 그림 8은 인버터 제어 블록도를 나타내었다.

2-4 시스템 적용 제어기 구성

그림 9는 PV (photo-voltaic)와 풍력 하이브리드 시스템에 적합한 계통 연계형 인버터 회로로서 태양전지가 최대 출력 점에서 동작할 때 승압회로의 출력전압인 직류전압은 인버터에 의해 교류전압으로 변환되며 부하 및 계통 측으로 전류를 공급한다. 계통 측으로 흐르는 전류는 리액터 양단의 전압에 의해서 결정된다. 인버터가 계통선에 유효전력만을 공급하기 위해서는 리액터에 흐르는 전류가 계통전압과 동상이면 되고 그 크기는 인버터 출력 단 전압의 위상을 제어 하므로 가능하게 된다 [9].

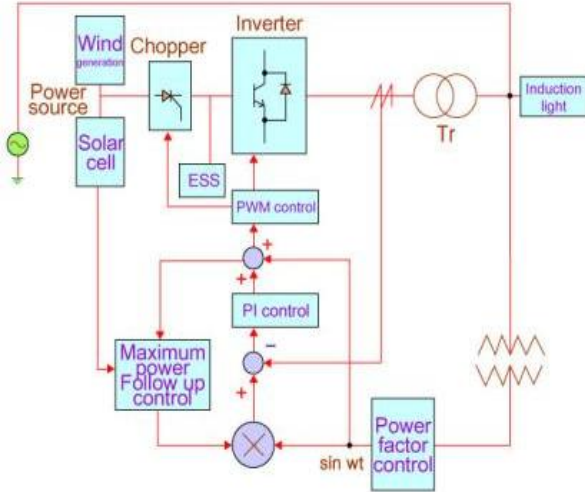


그림 9. 계통 연계형 하이브리드 시스템
Fig. 9. Interactive hybrid system.

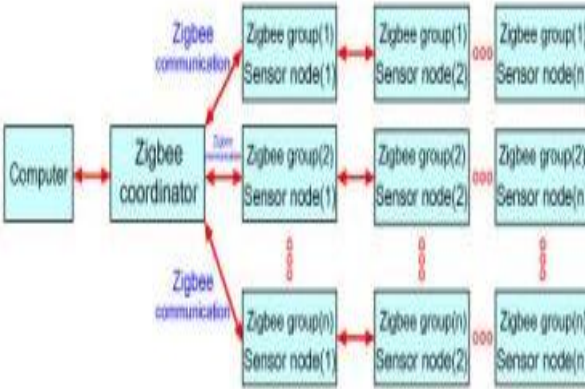


그림 10. 전체 시스템 동작 구성도
Fig. 10. System of operation consist diagram.

III. 시뮬레이션 및 실험 결과 고찰

3-1 LED 항공유도등 제어 시스템 구성

그림 10의 시스템 구성도에서 End device인 센서 노드들은 지그비의 특성으로 인하여 각 노드들이 라우터의 역할을 하게 된다. 여기에서 각 활주로마다 서로 각기 다른 확대한 ID를 부여하여 패밀리 ID로 사용하게 된다.

센서노드의 구성은 그림 11과 같이 구성된다. 지그비 통신방식으로 타 모듈들과 통신이 가능하며 풍력발전기와 태양광 발전기는 각 컨트롤러를 통해서 배터리에 전력을 공급한다. 배터리의 전력은 다시 제어장치에 전력을 공급해준다. LED의 구동은 배터리로부터 공급받은 전력을 LED 드라이버를 통해서 LED모듈에 전원을 공급한다.

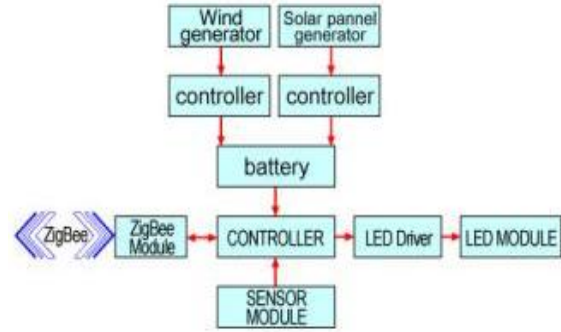


그림 11. End device 시스템 구성도
Fig. 11. End device diagram.

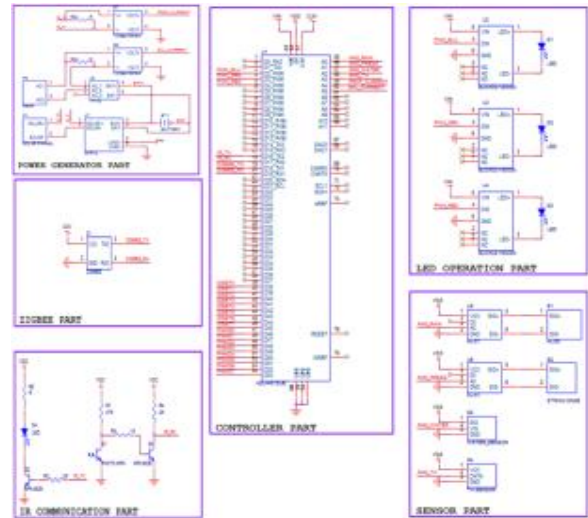


그림 12. 제어 시스템 구성도
Fig. 12. Schematic of control system.

LED driver는 PWM 제어방식을 통하여 빨강, 초록, 파랑색 LED의 광량을 제어하게 된다. 또한 DIP 스위치를 통하여 임의적으로 ID부여도 가능하도록 설계하였다. 그림 12는 마이크로 프로세서의 제어 구성도이다.

그림 13은 시스템의 프로그램 알고리즘이다. 시스템이 Power Up 되면 시스템 초기화를 하게 된다. 시스템 초기화를 마치면 코디네이터와의 통신을 통해 동작 모드를 확인한다. 이때 코디네이터는 주기적으로 각 활주로에 대하여 동작 모드를 명령한다. 수동모드일 경우에는 LED 색상 및 ON/OFF를 결정하고 동작 모드와 함께 송신한다.

자동모드일 경우에는 각 활주로등(센서모듈)의 내장 프로그램에 의해 자율적 동작을 하게 된다. 조도가 일정이상 낮아지게 되면 활주로등을 자동적으로 기상상황에 따라 점등하게 된다. 이때 기상상황이 안개 발생 시 노란색 LED를 점등하고 우천 시에는 초록색 LED를 점등한다. 또한 결빙 가능성이 있다면 빨강색 LED를 점등하게 된다. 일반적인 깨끗한 시정거리가 확보가 되고 결빙이 되지 않을 때에는 백색 LED를 점등하게 된다.

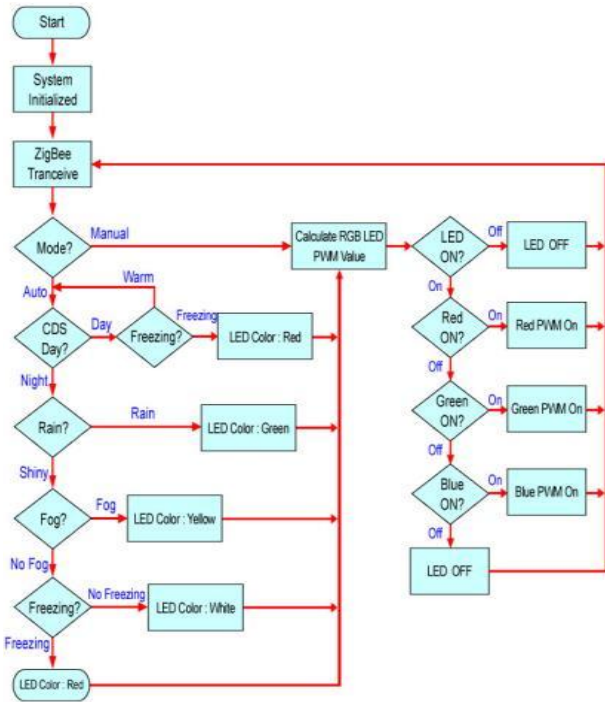


그림 13. 프로그램 알고리즘
Fig. 13. Program algorithm.

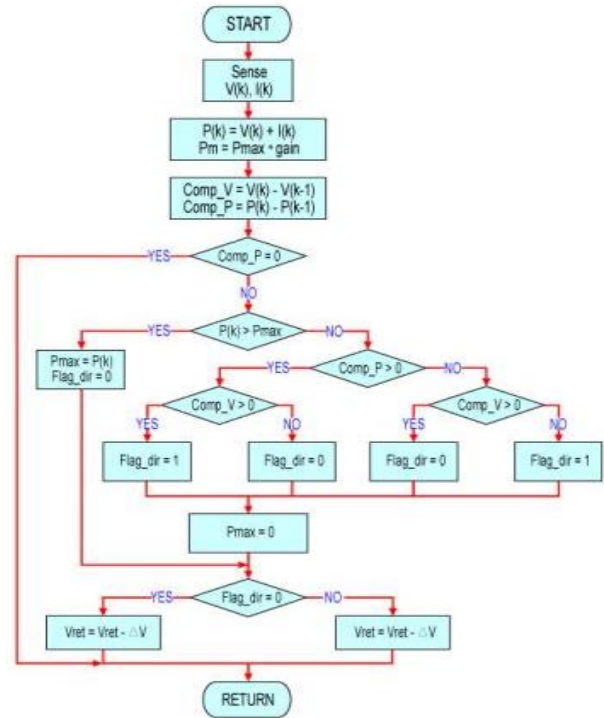


그림 14. 개선된 P&O 알고리즘의 순서도
Fig. 14. Improved P&O flow chart.

3-2 MPPT 제어 알고리즘과 개선된 P&O(Perturb and Observe) MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘

P&O 제어기법은 태양전지의 출력전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며 이전의 출력전력과 현재의 출력전력을 비교하여 최대전력의 상태를 추적하며 찾는다.

제어가 간단하여 널리 사용되지만, 초기에 최대 전력 점까지 도달하려면 진동을 하면서 증가하기 때문에 시간이 많이 걸린다. 또한 정상상태에서도 태양전지 출력전압이 ΔV 는 상수의 크기에 따라 진동하기 때문에, 만약 ΔV 가 크면 최대 전력 점 추종시간이 줄어들지만 최대 전력 점에서 진동 폭이 커지고, ΔV 를 작게 설정하면 진동 폭은 감소하지만 최대 전력 점까지의 도달시간이 오래 걸리게 된다.[10], [11].

P&O기법과 Im P&O기법을 응용하여 상태에 따라 추적 알고리즘을 변경하는 기법이다. 초기에 Im P&O와 같이 출력 전력이 최대값에 도달할 때까지 태양전지 출력전압의 레퍼런스를 계속 감소시켜 주기 때문에 진동하면서 증가하지 않으며 출력 전력이 최대로 도달하면 비교를 P&O 알고리즘으로 동작하게 함으로써 레퍼런스 증감을 Im P&O 알고리즘 보다 더 확실한 방향성을 가지고 추종하게 된다[12], [13].

다만, 진동을 줄이기 위해 레퍼런스 변동값은 기존 P&O 알고리즘보다 작게 설정한다. 그림 14는 개선된 P&O 알고리즘의 순서도를 나타낸다[14].

3-3 시스템 구성과 항공 유도등 제어 실험 고찰

제어장치의 프로세서로는 사용이 편리한 Arduino를 적용하였다. Arduino DUE 시스템을 적용하여 ARM계열의 ATSAM3X8E Cortex MCU를 채택한 시스템으로 막강한 성능을 가지고 있다. 12개 채널의 ADC(Analog-Digital-Converter)가 사용가능하며 2개 채널의 DAC(Digital-Analog-Converter)를 사용 가능하고, 또한 4개의 UART, 54개의 Digital IO 등을 사용 가능하다. LED Driver는 PWM 제어방식을 통하여 RED, Green, Blue LED의 광량을 제어하게 된다. 또한 DIP Switch를 통하여 임의적으로 ID부여도 가능하도록 설계하였다.

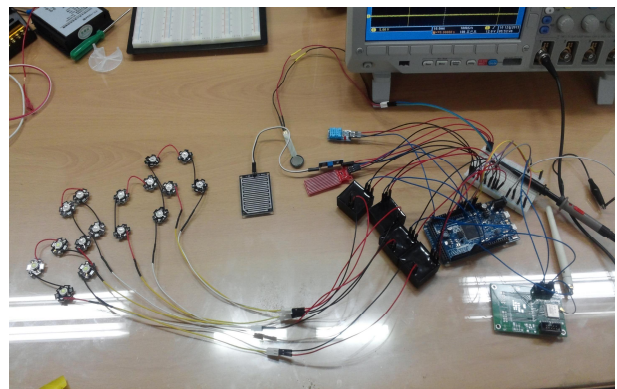


그림 15. 시스템 구성 회로 실험
Fig 15. System of circuit experiment.

그림 16과 그림 17, 그리고 그림 18은 풍력 발전기의 풍속에 따른 개방전압과 부하연결시의 전압파형을 나타내고 있다.

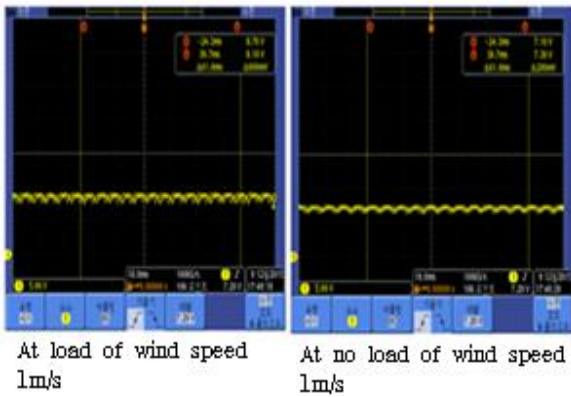


그림 16. 풍속 1 m/s 풍력발전기의 부하/무부하시 발전량
 Fig. 16. Wind speed 1 m/s : Power amount by Load and no Load

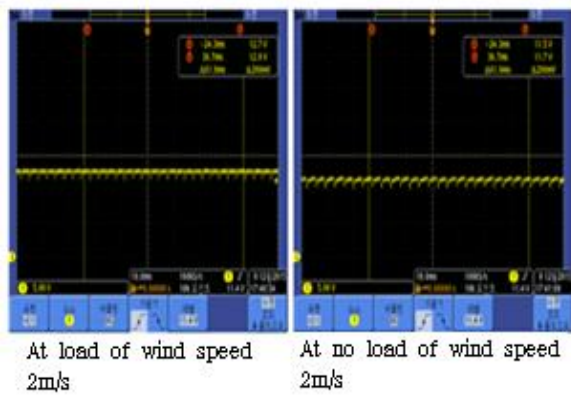


그림 17. 풍속 2 m/s 풍력발전기의 부하/무부하시 발전량
 Fig. 17. Wind speed 2 m/s : Power amount by Load and no Load

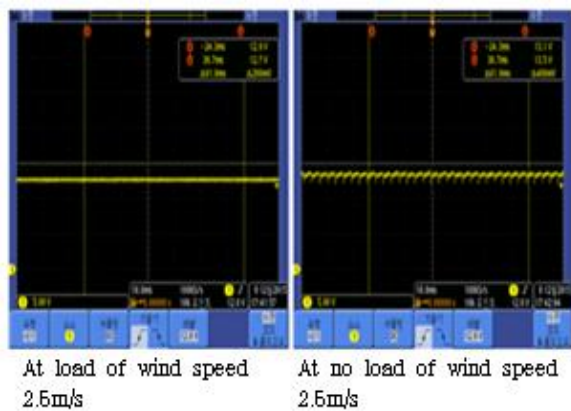


그림 18. 풍속 2.5 m/s 풍력발전기의 부하/무부하시 발전량
 Fig. 18. Wind speed 2.5 m/s : power amount by load and no load

그림 19와 그림 20, 그리고 그림 21과 그림 22는 마이크로프로세서에서 출력되는 PWM 파형을 통해 LED의 광량을 제어하게 된다.

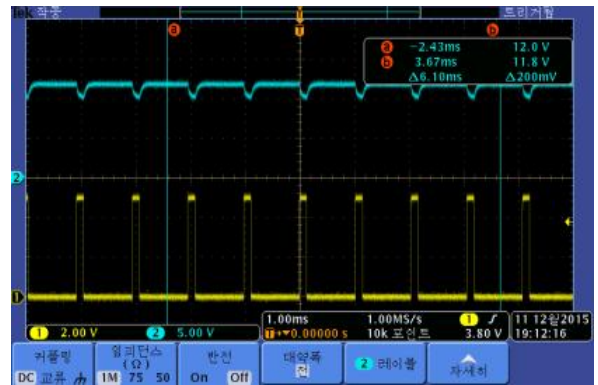


그림 19. 통전 12.5 % PWM 제어파형(Ch1), LED 출력파형(Ch2)
 Fig 19. PWM wave and LED output wave at Duty 12.5 %.

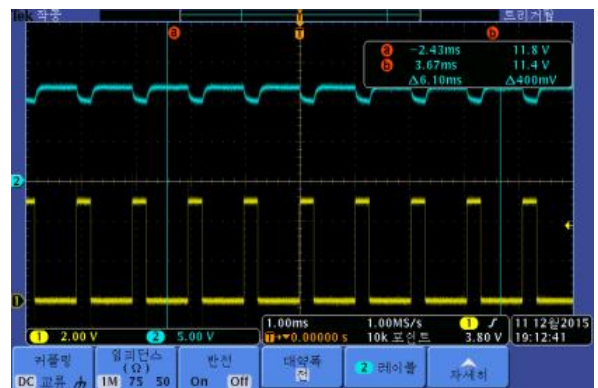


그림 20. 통전 25 % PWM 제어파형(Ch1), LED 출력파형(Ch2)
 Fig. 20. PWM wave and LED output wave at Duty 25 %.



그림 21. 통전 62% PWM 제어파형(Ch1), LED 출력파형(Ch2)
 Fig. 21. PWM wave and LED output wave at duty 62 %.

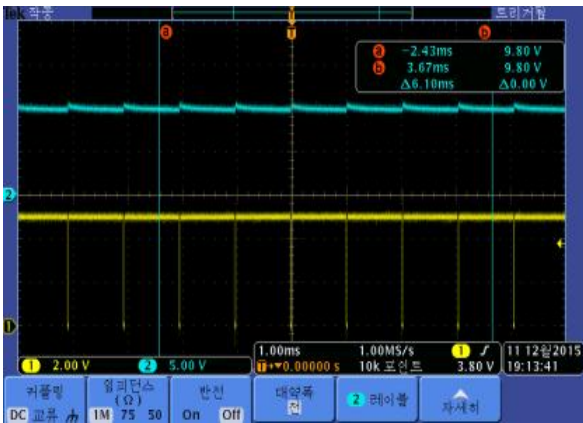


그림 22. 통전 95% PWM 제어파형(Ch1), LED 출력파형(Ch2)
 Fig. 22. PWM wave and LED output wave at duty 95 %.

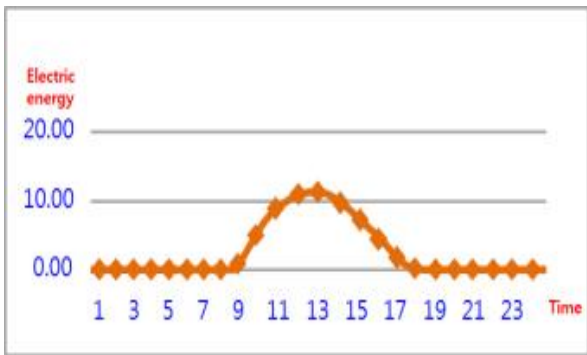


그림 23. 태양광 발전기 시간당 평균 발전 전력
 Fig. 23. Average hourly generated power by solar panel.

그림 23은 20 W 태양광 발전판의 맑은 날 발전 전력 측정 그래프이다. 12시에서 13시 사이에 최대 전력이 생산되었으며 일출 후 10시부터 급격한 전력상승이 이루어짐을 알 수 있다. 또한 일몰시에는 16시부터 급격한 전력하강이 있음을 알 수 있다.

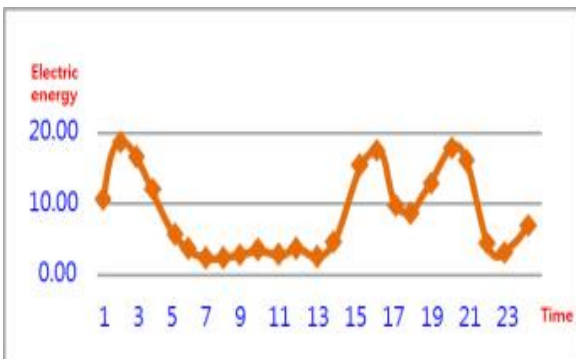


그림 24. 풍력발전기 시간당 평균 발전 전력
 Fig. 24. Average hourly generated power by wind turbines.

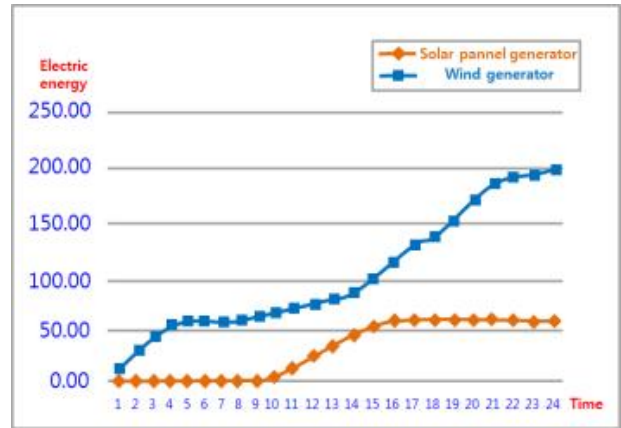


그림 25. 태양광 및 풍력발전기 누적 전력
 Fig. 25. Each cumulative power of solar panel and wind turbines.

그림 24는 50 W 풍력 발전기의 발전 측정 그래프이다. 바람의 세기는 비교적 불규칙 하였으나 측정 일에는 오후 16시부터 밤사이 높은 발전량을 보였다. 이는 태양광 발전과 비교 적 상반된 모습을 보이고 있다. 이런 상반된 현상은 오전 시, 태풍, 야간 등 태양광 발전이 어려울 때 비교적 많은 발전량을 보여 태양광 발전과 풍력발전은 상호 보완적인 관계를 가지고 있어 효율적으로 사용 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 25는 태양광 발전기와 풍력발전기의 발전에 의한 누적 전력을 보여준다. 태양광발전은 일몰 후 누적전력이 유지가 되고 일출시까지 유지됨을 알 수 있으며 이에 비해 풍력발전 그래프는 태양광발전 그래프의 기울기가 완만한 부분에서 급격한 기울기를 나타내고 있어 상호보완적 관계임을 알 수 있다.

그림 26은 태양광 발전기와 풍력발전기를 동시에 운영할 경우 두 발전기의 누적전력을 나타낸다. 두 발전방식에서 발전이 되고 있는 부분에서 기울기가 변화함을 알 수 있다.

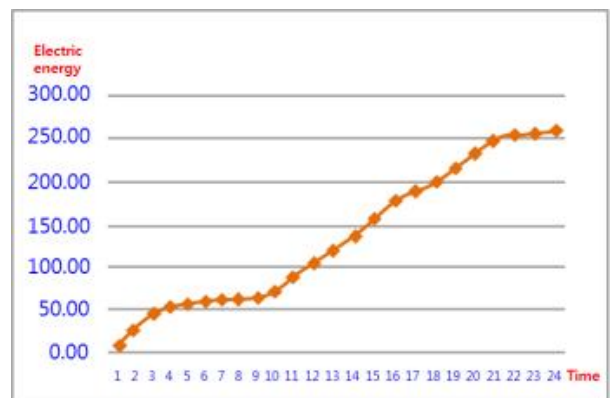


그림 26. 태양광 및 풍력 하이브리드 발전 누적 발전 전력
 Fig. 26. Cumulative power of solar panel and wind turbines.

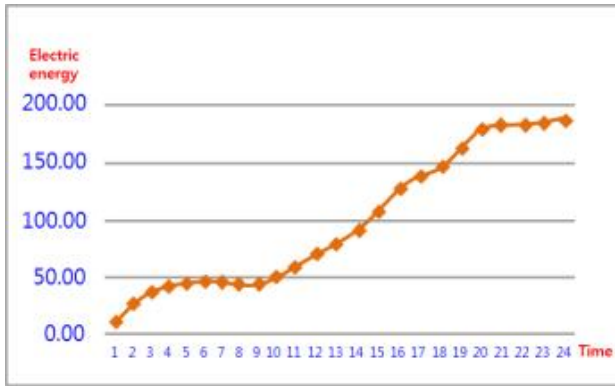


그림 27. 축적전력(누적전력 - 소비전력)

Fig 27. Accumulating power(cumulative power- consumption power).

그림 27은 3W LED 4개를 연결하여 24시간 전력을 소모했을 경우 누적전력을 보여주는 모의실험 한 결과이다. 두 발전시스템에서 발전이 이루어지는 부분에서는 누적전력이 증가하나 두 발전시스템 모두 발전을 하지 못하는 부분에서는 누적전력이 감소함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 방식은 태양광과 풍력을 조합하여 하이브리드 발전시스템을 구성하고 전력변환기를 구성하여 일사량과 온도변화에 최대 출력점을 가지도록 시스템을 구성하였다.

태양전지의 단점인 부조일이나 야간에 발전이 불가능하다는 것을 보완하기 위하여 상용전원과 연계하여 에너지 저장장치(ESS)를 상시 운영하도록 하였다. 또한 공항의 기상변화에 따라 파장별 LED 항공유도등을 운용함으로써 긍정적인 시각효과를 통해 기상상태를 직관적으로 알려줌으로써 안전도모에 도움이 될 것으로 사료된다.

계통전압과 인버터 출력을 위상동기화 하고 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 함으로써 에너지 절약 및 전력절감효과를 가져올 수 있을 것으로 사료된다. 본 논문에서 제안한 LED 항공유도등 제어회로를 응용하여 여러 방면에 걸쳐 활용이 가능할 것으로 예상되며 여러 USN (ubiquitous sensor network) 장치들과의 연계 및 확장이 가능할 것으로 사료된다.

태양전지에 대한 특성 해석과 수학적 모델링을 통한 시뮬레이션을 행하여 태양전지 특성 사양과 비교하였고, PWM 전압형 인버터와 위상동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력의 동상 운전으로 잉여전력을 계통과 연계할 수 있게 하였으며 공항의 활주로 항공 유도등을 적용하여 양호한 동특성을 얻을 수 있는 제어 회로도를 동시에 개발하여 프로그램을 다양화 한다면, 향후 항공 유도등에 대한 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 하반기 세명대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Van Der Broeck, Heinz, G.Sauerlander, and M.Wendt, "Power driver topologies and control schemes for LEDs," in *APEC 07-Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Anaheim: CA, pp. 1319-1325, 2007.
- [2] H. J. Chiu, Y. K. Lo, J. T.Chen, S. J. Cheng, C. Y. Lin, and S. C. Mou, "A high-efficiency dimmable LED driver for low-power lighting applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.57, No.2, pp. 735-743, 2010.
- [3] X. X. Wang, K. Murakami, O. Sugiyama, and S. Kaneko "Piezoelectric properties, densification behavior and microstructural evolution of low temperature sintered PZT ceramics with sintering aids," *Journal European Ceramic Society*, Vol 21, No. 10, pp. 1367-1373, 2011.
- [4] S. Zhang, R. Xia and T. R. Shrout, "Low temperature sintering and properties of piezoelectric ceramics PSNT-Mn with LiBiO₂ addition," *Materials Science and Engineering: B*, Vol. 129, No. 1-3, pp. 131-138, 2006.
- [5] R. Zno, L. Li and Z. Gui, "Modified cofiring behaviors between PMN-PNN-PZT piezoelectric ceramics and PZT-doped 70Ag-30Pd alloy metallization," *Material Science Engineering*, Vol. 1, A326, No. 1, pp. 202-207, 2012.
- [6] K. Nagata, J. Thongrueng, and K. Kato, "Evaluation of the reliability of piezoelectric ceramic transformers," *Japan Journal Apply Physics*, Vol. 36. No. 9B, pp. 6103-6108, 2007.
- [7] S. K. Na, "A study on the power converter control of the photovoltaic generation system for controlling the temperature and humidity of hospital room", Ph.D dissertation, Semyung University, Chungcheongbuk-do, Korea, 2008.
- [8] D. Cericola and R. Kötzt "Hybridization of rechargeable batteries and electrochemical capacitors: principles and limits," *Electrochimica Acta* 72, pp. 1-17, 2012.
- [9] "LED Lighting and Supercapacitors" *KEMET Corporation* 2013.
- [10] J. Hu, Y. Fuda, M. Katsuno and T. Yoshida. "A study on the rectangular-bar-shaped multilayer piezoelectric

transformer using length extensional vibration mode,” *Japan Journal Apply Physics*, Vol. 38, No. 5B, pp. 3208-3212, 2009.

- [11] S. Kawashima, S. Tagami, H. Hakamata, A. Fukuoka and K. Isobe, “Development of color-LCD backlight inverters utilizing piezoelectric transformer,” *NEC Research and Development*, Vol. 36, No. 1, pp. 187-199, 2005.
- [12] N. Narendran, N. Maliyagoda, L. Deng, and R. Pysar “Characterizing LEDs for general illumination applications: mixed-color and phosphor-based white source,” *SPIE Proceedings*, Vol. 1, No.2 pp. 4445-4450,

2011.

- [13] R. Itoh, and 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, No. 4 pp. 168-174, July 1989
- [14] S. Nonaka, K. Kesamaru, K. Yamasaki, “Interconnection system with sinusoidal output PWM current source Inverter between photovoltaic arrays and the utility line,” in *Proceeding of International Power Electronics Conference, IPEC-Tokyo*, Tokyo: Japan, pp. 144-151, 2009.



황 락 훈 (Lark Hoon Hwang)

1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남전문대학 전기과 (현, 대덕대학 전기과) 조교수
 1991년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수
 ※ 관심분야 : 전동기 제어, 대체 에너지 분야, 에너지 변환, 반도체 시뮬레이션, 전력전자 응용분야



김 진 선 (Jun Seon Kim)

2009년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
 2013년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
 2013년 3월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (박사과정수료)
 1995년 7월 ~ 현재 : (주)청파이엠티 대표이사
 ※ 관심분야 : 전력전자 응용분야 및 대체 에너지 분야, 전기기기



나 용 주 (Yong Ju Na)

2013년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
 2015년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
 2015년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과(박사과정)
 ※ 관심분야 : 전력전자 응용분야 및 대체 에너지 분야, 에너지 변환, 전동기 제어