

다이렉트 듀티비 제어에 의한 태양광 가로등용 충전제어기에 관한 연구

A Study on the Charge Controller for Solar Street Lamp by Direct Duty Ratio Control

장 한 기*, 임 중 열**

Han-Gi Jang*, Jung-Yeol Lim**

Abstract

According to the recent report, solar street lamp connected to a non Maximum Power Point Tracking(MPPT) charger, can lead to a system-wide decline in power output with as much as 30%. This paper proposes the charge controller with direct duty ration control for 250W solar street lamp in order to improve the efficiency of photovoltaic from these output power reduction. This paper covers the Pulse Width Modulation(PWM) controller and power conversion topology and analyze the MPPT method for charge controller. The power conversion part consists of push pull converter based on PWM controller using 8bit MCU in order to have lower manufacturing cost. The PWM controller with direct duty ratio control algorithm is constantly tracking the maximum power point of photovoltaic module and increases energy output power. The test results shows 97.1~97.4% MPPT efficiency and the experimental hardware is implemented based on the solar simulator condition for 241W. Thus, the implemented charge controller shows its feasibility for the real application, especially under solar street lamp.

요 약

MPPT가 미적용된 기존 태양광 가로등은 최대 30%의 출력저하를 유발한다고 보고되고 있다. 본 논문에서는 이러한 출력 저하로부터 태양광발전시스템의 효율을 향상시키기 위해 다이렉트 듀티비 제어 알고리즘을 적용한 250W 태양광가로등을 위한 충전제어기를 제안하였으며, PWM 제어기와 전력 토폴로지를 다루고, MPPT 알고리즘을 분석하였다. 전력변환부는 푸쉬풀 강압 컨버터로 구성하고, PWM 제어기는 8비트 MCU를 기반으로 해서 제조 원가를 낮추도록 하였다. 다이렉트 듀티비 제어 알고리즘을 적용한 PWM 제어기는 태양광모듈의 최대전력점을 지속적으로 추적하여 출력 전력을 증가시킨다. 실험 결과, 241W 태양광시뮬레이터 환경에서 97.1~97.4%의 MPPT 효율을 나타내었으며, 실제 응용제품에 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

Key words : Solar Street Lamp, Photovoltaic system, Maximum Power Point, PV Charger, Push pull converter

* Department of Digital Management Information, Nambu University.

★ Corresponding author

bbkang6615@naver.com +82-62-970-0125

※ Acknowledgment

Manuscript received Mar.18, 2015; revised Mar.26, 2015; accepted Mar.30.2015

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.

1. 서론

태양광가로등은 태양광모듈, 충전제어기, 축전지, LED램프로 구성되고, 상용계통의 지원이 없기 때문에 부하소비전력량은 태양광 발전량 이하로 제한된다. 연속 강우와 같은 부조일시에는 태양광 발전량이 0이 되고 축전지의 방전으로 부하급전을 하기 때문에 몇 일간분의 축전지를 설치할 지를 결정해야 하며, 이 부조일일수의 상정이 부하의 전력공급 신뢰성을 좌우하는 중요한 핵심이 된다.

태양광모듈은 입사되는 일사량의 변동에 따라 출력이 가변하기 때문에 주택용이나 상업용과 같은 계통연계형 태양광발전시스템에서는 전력변환장치가 태양광모듈의 최대출력점제어를 통해 운전하도록 설계되어 있다[1][2]. 그러나 독립형 태양광발전시스템이 적용되는 대부분의 충전제어기에는 최대출력점제어가 아닌 단순한 PWM(Pulse Width Modulation) 제어로 구성되어 있기 때문에 태양광모듈에서 출력되는 에너지를 효율적으로 저장하지 못하고 최대 30%의 전력손실이 발생하는 문제점이 있다[3].

본 논문에서는 보급형 태양광가로등용 충전제어기 제작을 위하여 푸쉬풀 컨버터를 이용하여 전력변환회로를 구성하고, MCU는 저가형 8비트 mega16-u16을 채택하였다. 최대전력점제어를 위해 기존의 전압 레퍼런스에 의한 P&O 알고리즘을 개선한 다이렉트 듀티비 제어 알고리즘을 적용하여 실험을 통해 충전제어기로의 타당성을 검토하였다.

2. 본론

1. 시스템 개요

본 논문에서 제안된 태양광가로등용 충전제어기는 그림 1과 같이 구성되어 있고, 태양광모듈의 최대출력점을 찾기 위해 다이렉트 듀티비 제어 알고리즘을 적용하였다.

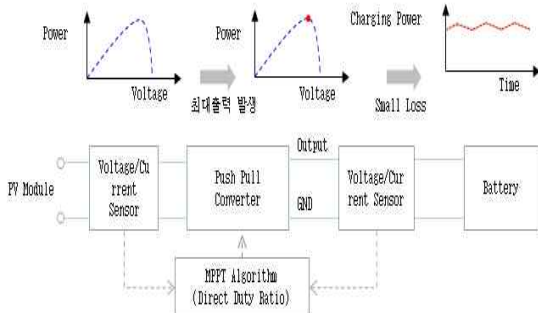


Fig. 1. Block diagram of charge controller
그림 1. 충전제어기 블럭도

다이렉트 듀티비 제어 알고리즘은 태양광모듈에서 출력되는 전압과 전류를 측정하여 현재와 이전에 대한 전력값을 비교한 후 전류를 비교한다. 이를 통해 푸쉬풀 컨버터의 스위칭 듀티비를 직접 조정함으로써 태양광모듈의 출력이 항상 최대전력점에 위치하도록 하여 배터리에 충전되는 에너지를 높일 수 있다.

2. 태양광모듈 모델링

태양전지 어레이의 출력은 일사량과 온도에 따라 최대출력이 변동하며 비선형 특성을 지니고 있다.

태양전지의 특성은 일반적으로 그림 2에서 보이는 바와 같은 등가회로로 표현되며 다음의 수식으로 표기할 수 있다[4][5].

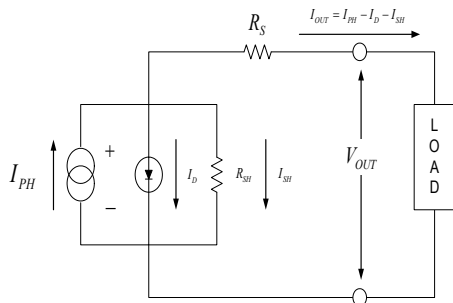


Fig. 2. Equivalent circuit of solar cell
그림 2. 태양전지의 등가회로

$$I_{OUT} = I_{PH} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} (V_{OUT} + I_{OUT}R_S) - 1 \right\} - \frac{V_{OUT} + I_{OUT}R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

- I_{PH} : 광발생전류
- I_{OUT} : 부하측에 흐르는 전류
- V_{OUT} : 태양전지 출력전압
- R_S : 내부 직렬저항
- R_{SH} : 내부 병렬저항
- A : pn접합의 재료특성과 온도특성 계수
- B : 재료 계수
- k : 볼츠만 상수
- T : 전지 온도. (K)
- q : 전하량

식 (1)을 간단히 하기 위해서 $R_S = 0$, $R_{SH} = \infty$ 로 설정하면 식 (2)로 간략화 시킬 수 있다.

$$I_{OUT} = I_{PH} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} V_{OUT} - 1 \right\} \quad (2)$$

일사량 $1kW/m^2$ 일때의 단락전류를 I_{MAX} 로 놓으면 다음 식 (3)과 같이 정의되며

$$I_{OUT} = I_{PH} = I_{MAX} \quad (3)$$

태양전지의 출력을 개방($I_{OUT} = 0$)하면, 태양전지의 출력전압은 다이오드의 순방향 전압이 되기 때문에 다음 식 (4)와 같이 표현된다.

$$0 = I_{MAX} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} V_D - 1 \right\} \quad (4)$$

3. 전력변환부 설계

본 논문에서는 사용하기 쉽고, 잡음의 적으며, 크기가 작고, 저렴하게 제작이 가능한 전력변환회로인 푸쉬풀 컨버터를 이용해 전력변환회로를 구성하였으며, 그림 3과 같이 2가지 모드로 동작한다[6].

Q1이 on되면, 입력 전압 V_{IN} 이 트랜스포머의 일차측 하부를 통해 흐르는 전류를 발생시킨다. 이 전류의 흐름은 중간 탭의 V_{IN} 전위(potential)에 대해 일차측 하단에서 음전위(negative potential)를 발생시키며, 일차측 상부 끝의 전압 전위는 중간탭에 대해 양극(positive)으로 나타난다. 트랜스포머 위쪽 일차측 상부에 걸리는 전압과 하부에 걸리는 전압의 V_{IN} 크기는 같고, 이 두 전압원은 직렬로 나타나기 때문에, 접지에 대하여 일차측 권선의 개방된 말단에서 $2V_{IN}$ 의 전압 전위가 발생한다.

2차측 권선의 상부 말단의 양전위는 다이오드 CR1에 순방향 바이어스이며, 상부 이차측 말단에서 시작하는 이차 전류는 CR1를 통해 흘러, 커패시터 C를 충전하고, 부하 임피던스 R_L 을 통해 중간탭으로 돌아간다.

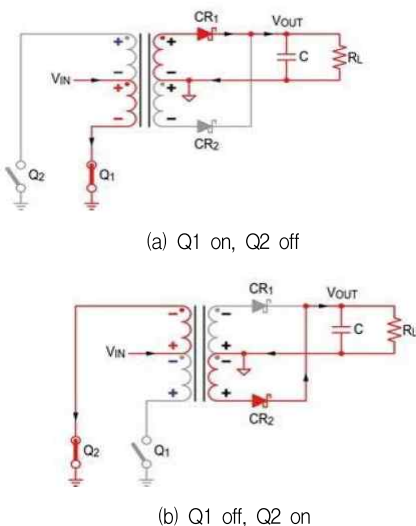


Fig. 3. Operation modes of power conversion circuit
그림 3. 전력변환회로의 동작 모드

Q2가 on되면, 일차측에서는 Q1이 고임피던스가 되고 전압 극성을 갖게 되며 이차 측에서는 그 반대가 된다. 일차측 하부 말단은 지면에 대해 $2V_{IN}$ 전위를 지닌 개방 말단이 되고 CR2는 순방향 바이어스 CR1은 역방향 바이어스가 된다.

전류는 하부 이차측 하부 말단에서 흘러나와 CR2를 통해 커패시터를 충전하고 부하가 되는 배터리에 전달된다.

트랜스포머의 권선비를 N 이라고 하고, (스위치가 on 되어있는 시간)/(스위칭 주기 T) = (듀티비 D)이라고 하면, 스위칭 신호와 전압-시간에 대한 평형조건은 그림 4로 나타낼 수 있고, 출력전압의 크기는 식 (6)과 같다.

$$N(V_{IN} - V_{out}) \cdot \frac{DT}{2} + V_{out} \cdot \left(\frac{T}{2} - \frac{DT}{2} \right) = 0 \quad (5)$$

$$V_{out} = 2DNV_{IN} \quad (6)$$

즉, 출력전압과 입력전압의 비는 트랜스포머의 권선비와 듀티비 D 에 비례한다.

D 가 0.5보다 크면, 두 개의 스위치가 동시에 on 되어 입력전원이 단락되는 경우가 생기므로 D 는 항상 0.5보다 작도록 그림 4와 같이 스위치 게이트 신호를 제어해야 하기 때문에 컨버터의 최대 출력전압은 NV_i 가 된다.

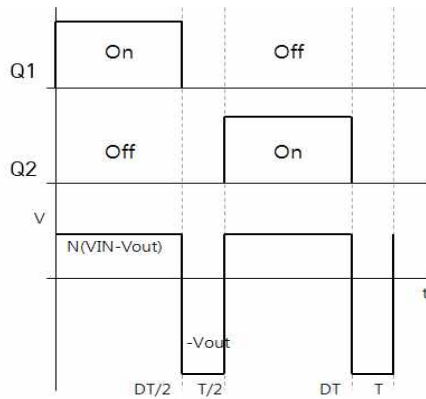


Fig. 4. Switching signal and voltage-time balance condition of power conversion circuit
그림 4. 전력변환회로의 스위칭 신호와 전압-시간 평형 조건

그림 5는 300W급 프로토타입 태양광충전제어기 회로도와 사진을 나타내고 있다. 전력변환부는 푸쉬풀 강압 컨버터로 구성하였고, 스위칭 신호는 8비트 MCU Mega16-u16에서 처리하는 다이렉트 듀티비 제

어 알고리즘을 통해서 생성되며, 트랜스포머는 1:1의 권선비를 갖도록 설계하였다.

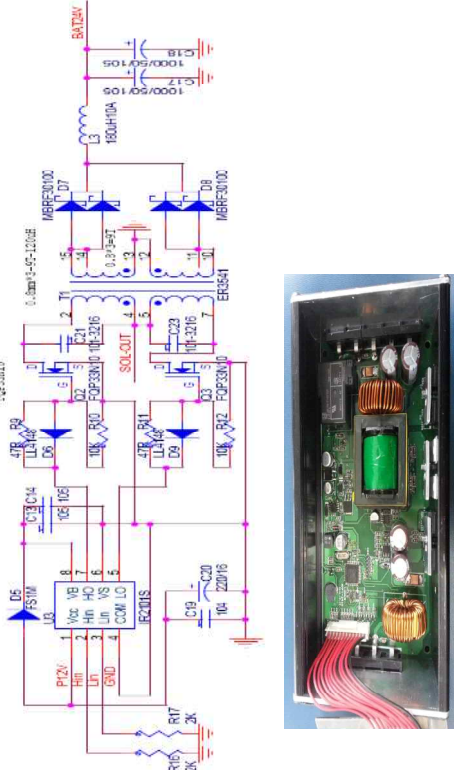


Fig.5. Prototype of charge controller
그림 5. 프로토타입 충전제어기

4. 최대전력점 제어 알고리즘 설계

일반적으로 사용되고 있는 최대전력점 제어 알고리즘은 그림 6와 같이 레퍼런스 전압에 의한 P&O 알고리즘으로써 태양광모듈에서 측정된 전압과 전류값을 통해서 현재 모듈의 최대출력점 전력 P(k)를 계산한다[7]. 그림 7은 본 논문에서 제안된 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘을 나타내고 있다.

현재 측정된 전력 P(k) 값을 이전에 측정된 전력 P(k-1)값과 비교하여 현재 전력이 과거 전력보다 증가되었다면 출력 전류의 섭동은 최근 주기와 동일한 방향으로 진행된다.

만약 출력이 최근 측정이후에 감소되었다면 출력 전류의 섭동은 최근주기와 반대 방향으로 전환되고, 최대출력점에 도달하자마자, 전압 I는 이상적인 동작 전압 I_{mp} 주위에서 진동하게 된다.

기존 레퍼런스 전압에 의한 P&O 제어 방법은 전력과 전압에 대한 과거 값과 현재 값을 비교하여 레

퍼런스 전압의 조정을 통해 듀티비를 제어하기 때문에 32비트의 MCU가 필요하다. 하지만 다이렉트 듀티비 제어에 의한 알고리즘은 전력과 전류값에 대한 과거 값과 현재값을 비교하여 듀티비를 직접 제어하기 때문에 8비트 MCU 만으로 충분히 동작시킬 수 있는 장점이 있다.

전력과 전류에 대한 현재값과 과거값을 비교하는 방법은 기존의 레퍼런스 전압 제어에 의한 방법과 같으며, 최대전력점은 태양광모듈의 특성곡선 안에서 상승과 하강을 반복하며 지속적으로 진동하게 된다.

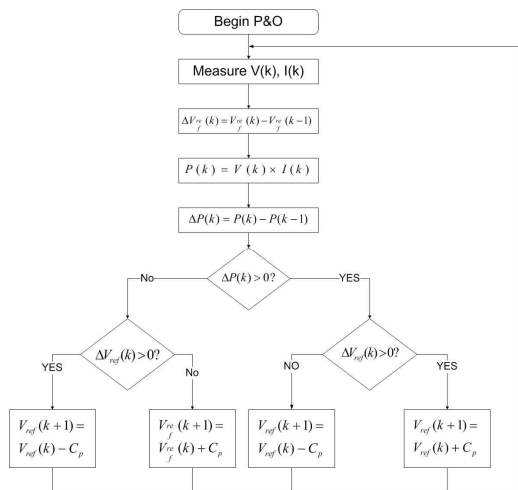


Fig. 6. P&O algorithm with reference voltage control
그림 6. 레퍼런스 전압 제어에 의한 P&O 알고리즘

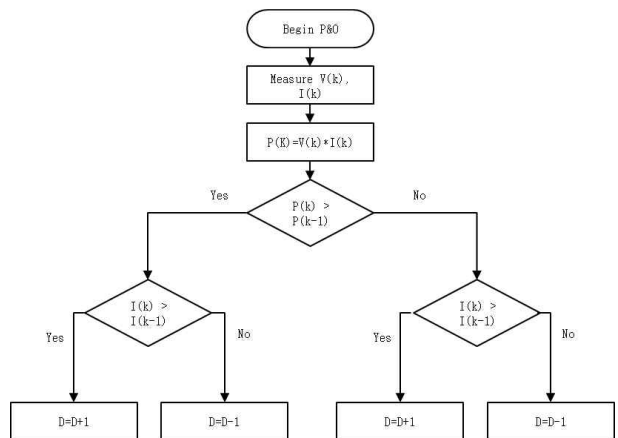


Fig. 7. P&O algorithm with direct duty ratio control
그림 7. 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘

5. 실험 결과

본 논문에서는 그림 8과 같이 실험 환경을 구축하고 레퍼런스 전압에 의한 P&O 알고리즘과 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘을 적용하여 전압, 전류, 출력 특성을 측정하였다.

태양광시뮬레이터의 출력이 표 1과 같은 사양을 만족하도록 설정하여 충전제어기의 입력단에 연결하고, 충전제어기의 출력단에는 DC 부하기를 연결하였다. 태양광모듈 시뮬레이터의 출력이 100%일때 DC 부하는 2.29로 설정하였다.

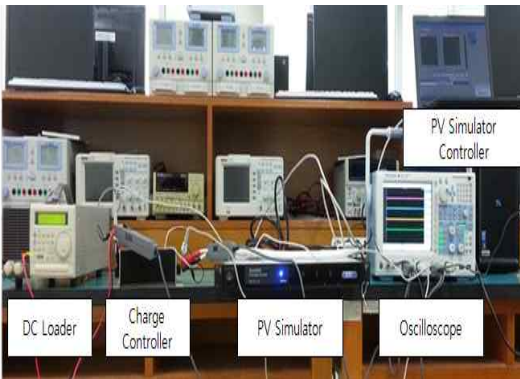


Fig. 8. Experiment environment
그림 8. 실험 환경

Table 1. PV module specifications
표 1. 태양광모듈 사양

Item	Unit	Value
Maximum Power	Wp	241
Maximum Power Voltage	Vmp	30.1
Maximum Power Current	Imp	8.01
Open Circuit Voltage	V	37.4
Short Circuit Current	A	8.54
Module Efficiency	%	15.06

그림 9는 레퍼런스 전압 제어에 의한 P&O 알고리즘의 성능을 측정하기 위하여 500초 동안 태양광 모듈의 최대출력점 전압과 전류 측정 데이터를 나타내고 있다.

최대전력점 전압은 28~30.3V에서 진동하고, 최대전력점 전류는 7.4 ~ 8.1A에서 진동하고 있으며, 전력은 224.2 ~ 226.8W가 측정되었다. 효율은 93.0 ~

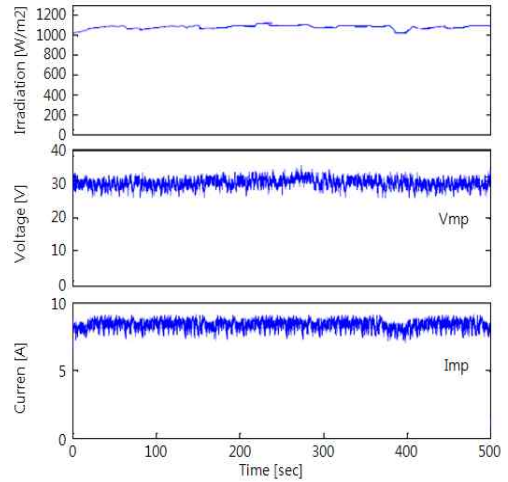


Fig. 9. PV MPP voltage and current : P&O algorithm with reference voltage control

그림 9. 태양광 최대출력점 전압과 전류 : 레퍼런스 전압 제어에 의한 P&O 알고리즘

94.1%로써 1%의 출력변동이 발생함을 알 수 있다.

그림 10은 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘의 성능을 측정하기 위하여 500초 동안 태양광 모듈의 최대출력점 전압과 전류 측정 데이터를 나타내고 있다.

최대전력점 전압은 28.9~30.1V에서 진동하고, 최대전력점 전류는 7.8~8.1A에서 진동하고 있으며,

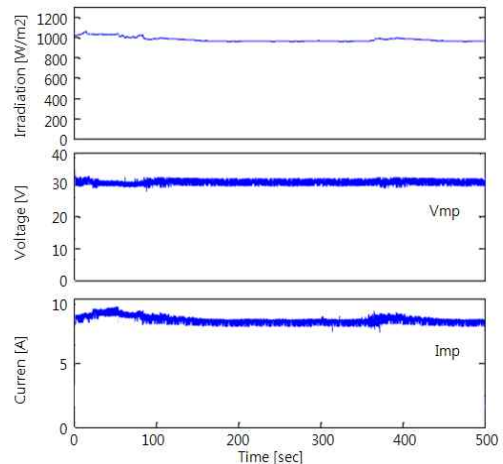


Fig. 10. PV MPP voltage and current : P&O algorithm with direct duty ratio control

그림 10. 태양광 최대출력점 전압과 전류 : 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘

전력은 234.1 ~ 234.8W가 측정되었다. 효율은 97.1 ~ 97.4%로써 출력이 안정화 되어 있음을 알 수 있다

III. 결론

본 논문에서는 250W급 태양광가로등을 위한 충전 제어기의 MPPT 알고리즘으로써 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘을 제안하였다.

기존에 주로 사용되고 있는 P&O 알고리즘은 레퍼런스 전압으로 제어되기 때문에 복잡하지만, 본 논문에서 제안된 다이렉트 듀티비 제어방법은 제어가 간단하고 저사양 MCU를 사용하기 때문에 제조원가를 낮출 수 있는 장점이 있다.

전력변환부는 푸쉬풀 강압 컨버터로 구성하고, PWM 신호는 8비트 MCU Megal6-u16에서 처리하는 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘을 통해서 생성되며, 트랜스포머는 1:1의 권선비를 갖도록 프로토타입 충전제어기를 제작하였다.

일사량 1,000W/m² 상태에서 태양광시뮬레이터를 이용해 레퍼런스 전압 제어에 의한 P&O 알고리즘과 다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘을 적용하여 충전제어기 실험을 진행하였다.

다이렉트 듀티비 제어에 의한 P&O 알고리즘 적용했을 때 전압-전류 변동폭이 작았으며 3.3%이상 효율이 높게 측정되었으며, 이를 통하여 태양광가로등용 충전제어기로써의 타당성을 확인하였다.

References

- [1] IEA PVPS, Trends in Photovoltaic applications, IEA, Report IEA-PVPS, 2006
- [2] B. K. Bose et al.(1985). "Microcomputer control of a residential photovoltaic power conditioning system." IEEE Trans. On Industry Application. IA-215.
- [3] V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," Solar Energy Mater. Solar Cells, vol. 90, pp. 1555 - 1578, 2006.
- [4] Hajime Kawamura, etc. "Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells." Solar Energy Materials & Solar Cells. 2003.
- [5] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache and A. Bouzidura, "A detailed modeling method of photovoltaic cells, energy, Vol. 32, pp.1724-1730, 2007
- [6] R. Leandro and I. Barbi, "A Three-Phase

Current-Fed Push-Pull DC-DC Converter", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 24, Issue 2, pp. 358-368,2009, Feb.

[7] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 4, pp. 963 - 973, Jul. 2005.

BIOGRAPHY

Jang Han-Gi (Member)



2002 : MS degree in Business Administration, Honam University.

Lim Jung-Yeol (Member)



1996 : BS degree in Electronic Engineering, Dongshin University.

1998 : MS degree in Electronic & Electrical Engineering, Dongshin University.

2002 : PhD degree in Electronic & Electrical Engineering, Dongshin

University.

2003~2015 : Professor, Nambu university