# 독립형 태양광 발전시스템의 MPPT 제어기법 특성비교

논 문
61-1-12

# Comparison of MPPT Control Method Characteristic for Stand-alone PV System

이 용 식** · 김 남 인* · 정 성 원*** · 김 재 현†
(Yong-Sik Lee · Nam-In Kim · Sung-Won Jeong · Jae-Hyeon Gim)

**Abstract** - Maximum power point tracking(MPPT) techniques are used in photovoltaic systems to maximize the PV array output power by tracking continuously the maximum power point which depends on panels temperature and on irradiance conditions. This paper proposes a variable step size MPPT algorithm which can improve the MPPT speed and accuracy. Depending on insolation and temperature, the MPPT controller gives optimized step size. The effectiveness of the proposed system is verified thorough PSIM simulation and experiments on a 50[W] prototype. The experimental results confirm that the PV power of the improved P&O method is higher than that of the traditional P&O method.

**Key Words** : Stand-alone PV system controller, MPPT, P&O, Improved P&O, Battery charging

## 1. 서 론

기존의 화석 연료 에너지를 사용함에 따라 사회 경제적 문제와 지구 환경 문제가 크게 이슈화 되고 있으며, 전 세계적으로 대체 에너지에 대한 기술 개발 및 보급 확대가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 태양광 에너지를 활용한 연구개발 및 상업화가 가장 활발하게 이루어지고 있으며, 태양광 에너지는 신재생에너지 중 가장 풍부한 자원으로 미래에 지배적으로 사용될 수 있는 에너지원으로 평가받고 있다.

태양전지 출력전력을 변환하여 사용하는 태양광 발전시스템은 구성방식에 따라 독립형과 계통연계형 시스템으로 구분되며, 용도별로 주택용, 낙도전원용, 대규모 전력공급용 및 기타로 분류 할 수 있다. 계통으로부터 전력을 공급 받기 어려운 도서 및 산간벽지나 계통연계시 설비비용이 많이 드는 곳에 독립형 태양광 발전시스템이 사용되며, 계통과 연계하여 태양광 발전출력이 수용가 부하보다 큰 경우에는 잉여전력으로 회생하고, 부족한 경우에는 계통으로부터 공급받기 위해 계통연계형 태양광 발전시스템이 사용된다.[1]

태양전지는 비선형적 출력특성을 가지고 있으며, 일사량 및 태양전지 표면온도에 따라 연속적으로 변하기 때문에 태양전지의 최대 출력동작점이 변하게 된다. 따라서 태양전지를 효율적으로 사용하기 위해 최대 출력을 얻도록 MPPT (Maximum Power Point Tracking)제어가 필요하다. MPPT 제어 방식은 정전압 방식, 비선형함수 계산방식, P&O(Per - turbation)방식, IncCond(Incremental Conductance)방식 등이 있으며, 필드에 적용되어지는 기법들은 제어가 간단하면서 연산량이 적고 안정성이 높은 P&O 제어 알고리즘이 사용되고 있다.[2][3] 이러한 MPPT 제어 방식을 적용한 대용량 계통연계형 및 독립형 PCS(Power Conditioning System)는 이미 상용화 되고 있지만, 소형 독립형 전원에 사용되는 컨트롤러는 배터리 충·방전 및 부하 on/off 기능만 있어 태양광의 출력효율이 낮고, 부하에 대한 제어효율이 현저히 떨어짐에 따라 각 시스템에 MPPT를 최적화 할 수 있는 독립형 컨트롤러가 절실히 필요하다.

본 논문에서는 태양광 발전을 이용하여 가로등, 조명분수, 식물농장 등 소형 독립형 전원시스템에 적용할 수 있는 충·방전 컨트롤러를 개발하였다. 또한, 태양광 발전 효율을 높이기 위해 사용되는 MPPT 제어기법 중 소수의 측정 파라미터로 가장 많이 사용되는 P&O 제어기법과 개선된 P&O 제어기법을 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 성능을 검증하고, 컨트롤러에 적용하여 비교분석함으로서 타당성을 입증하였다.

## 2. 독립형 태양광 발전시스템 구성

### 2.1 충·방전 컨트롤러 설계

독립형 태양광 발전시스템의 컨트롤러를 설계하기 위한 제어블록도는 그림 1과 같다. 태양전지의 전압, 전류를 MPU[Micro Processor Unit]의 A/D 컨버터를 통해 현재의 전력 값을 연산하고, 이전의 전력 값과 비교를 통한 MPPT 제어로 지령치 전압이 생성된다. 지령치 전압에 따라 MOSFET의 PWM 듀티비를 조절함으로서 태양전지의 최대

* 준 회 원 : 순천대 공대 전기공학과 석사과정
** 정 회 원 : 순천대 공대 정보통신공학부 박사과정
*** 정 회 원 : 순천대 공대 정보통신공학부 박사(공박)
† 교신저자, 정회원 : 순천대 공대 전기제어공학과 교수
E-mail : jhg@sunchon.ac.kr
접수일자 : 2011년 9월 10일
최종완료 : 2011년 11월 28일

출력점을 추종하게 되며, 출력효율을 높일 수 있다. 또한, 배터리 전압을 센싱하여 배터리의 저전압시 배터리 방전보호를 위해 부하단을 차단하고 배터리의 충전상태를 유지하게 되며, 과충전을 방지하기 위해 배터리의 과전압 수치를 넘을 경우 MPPT의 추종점을 변경하여 배터리의 과충전이 되지 않도록 설계하였다.[4][5]

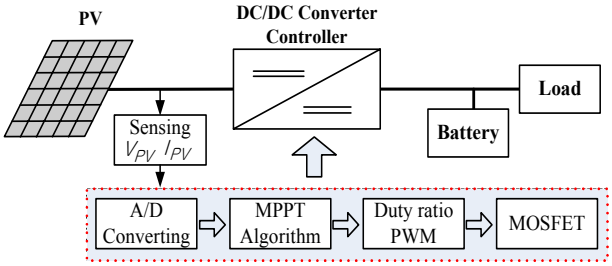



**그림 1** 독립형 태양광 시스템 컨트롤러 블록다이어그램
**Fig. 1** Block diagram of stand-alone PV system controller

그림 2는 본 논문에서 개발한 독립형 태양광 발전시스템 컨트롤러의 입·출력 스위칭 회로로서 태양전지로부터 입력되는 전압, 전류 입력부와 배터리의 전압 확인부, A/D 컨버터 변환부, 태양광 발전으로부터 배터리의 충전 및 부하출력 제어를 위한 스위칭 제어로 구성되어 있다. MOSFET IRF3205를 병렬형 구조로 사용하여 과전류 상태에서 보다 내구성이 뛰어나고 Half Bridge 형태의 스위칭 제어를 위해 FAN7382M 게이트드라이브 IC를 사용하여 빠른 스위칭 전환이 가능하도록 설계하였다. 태양전지로부터 입력되는 최대 허용전압 및 전류는 50V/8A로 약 400W까지 입력이 가능하다.[4]

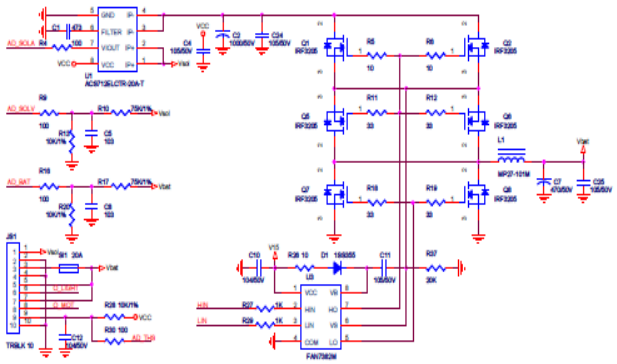


**그림 2** 컨트롤러 입·출력 스위칭 회로
**Fig. 2** Circuit of controller input and output switching

개발한 컨트롤러 시제품은 그림 3과 같으며, 2개의 Dip Switch와 5개의 입·출력 단자로 구성되어 있으며, 10개의 MOSFET과 저 전력 구동이 가능한 8K byte의 In-System Programming인 ATmega 8로 구성되어 있다. 132(W)*72(H)mm 크기를 갖으며, 세부사양은 표 1와 같다.

**표 1** 컨트롤러 세부사양
**Table 1** Specification of controller

| 항목 | 규격 |
|---|---|
| BATTERY Voltage | 12V/24V 겸용 |
| PV Voltage | 0V~50V |
| MAX PV INPUT | 12V/200W, 24V/400W |
| 최대 출력 전류 | 15A |
| 자기 소비 전류 | 20mA |
| MPPT | 95% |
| 온도 보정 | 12V=24mV/℃, 24V=48mV/℃ |
| 보호 회로 | 과전압/과전류, 역전류, 과부하 보호 |

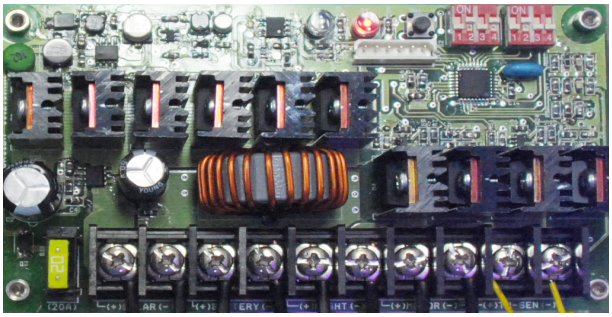


**그림 3** 개발한 독립형 태양광 발전시스템 컨트롤러
**Fig. 3** The developed stand-alone PV system controller

### 2.2 MPPT 제어

태양광 발전시스템은 환경변화 조건에 대해 출력효율을 높이고자 MPPT 제어기법을 사용하며, 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 분류된다. 아날로그 방식은 센서 및 제어회로의 구성으로 저가라는 장점이 있지만, 온도 변화폭이 넓고 일사량의 변동이 심한 조건에서 제어시스템의 정밀도를 유지하기가 어렵다는 단점이 있다. 이에 비해 디지털 방식은 MPU의 연산에 의해 제어함으로서 제어의 유연성과 신뢰성을 확보할 수 있어 최근 태양광 발전 시스템 구성에 많이 사용되고 있다.[6][7]

MPPT 제어는 일사량과 온도변화에 따라 가변하는 태양전지의 최대 출력점을 추정할 수 있는 전압 또는 전류 지령치를 생성하며, 태양전지의 출력 값과 오차 연산후 PI 제어를 통해 PWM 신호를 생성한다. 대표적인 MPPT 제어방법으로 CV(Constant Voltage), P&O, IncCond 등이 있으며, 빠른 환경변화를 고려하여 태양전지의 PV특성곡선을 이용하는 P&O, IncCond 방법이 많이 사용된다.[8]

본 논문에서는 컨트롤러 MPU 사양에 적합한 소수의 측정 파라미터를 갖는 P&O 제어방법을 적용하였으며, 기존의 P&O 제어방법과 태양전지 출력상태에 따라 Step 값이 가변되는 개선된 P&O 제어방법에 대해 비교분석 하였다.

#### 2.2.1 P&O 제어기법

P&O 제어기법은 그림 4와 같이 태양전지의 출력전압과 전류의 곱에 의한 전력변환 계산에 기초를 두고 있으며, 현재의 출력전력($P(t)$)과 이전 출력전력($P(t-1)$)을 비교하여 지정된 Step 값의 연산에 의해 지령치 출력전압($V_{ref}$)을 계

산하는 제어방식이다. 현재의 지령치 출력전압에 따라 MOSFET 듀티비를 조절함으로써 최대 전력 상태를 유지시킬 수 있게 한다.

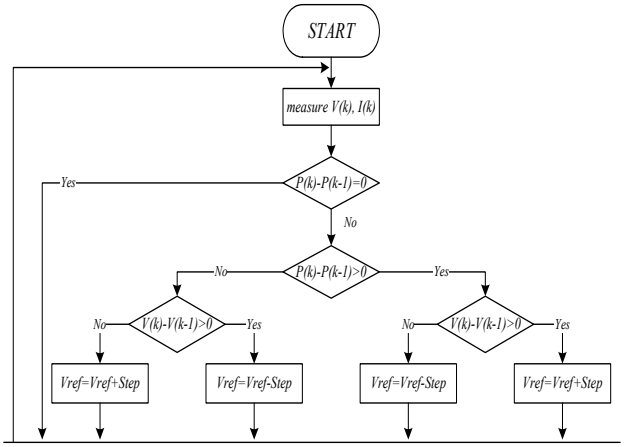



**그림 4** P&O MPPT 알고리즘 순서도
**Fig. 4** P&O MPPT algorithm flowchart

### 2.2.2 개선된 P&O 제어기법

기존의 P&O 제어기법은 태양전지의 단자전압이 MPP에 이르렀을 때 일정 혹은 천천히 변하는 환경 조건에서 자려진동하여 출력 효율이 떨어진다는 단점이 있다.[8] 따라서, 환경변화에 대한 출력전력 상태를 고려하여 MPP의 추적속도를 높이고 손실을 줄이기 위해 본 논문에서는 태양전지에서 출력되는 전력 오차 값에 대해 Step 값이 가변되는 개선된 P&O 알고리즘을 적용하였다. 본 논문에서 적용한 Step 값은 개발한 컨트롤러에 최적화 된 값으로 반복된 실험값을 통해 3가지 경우로 나눠 0.2, 0.1, 0.05 값을 설정하였으며, 알고리즘 순서도는 그림 5와 같다.[5]

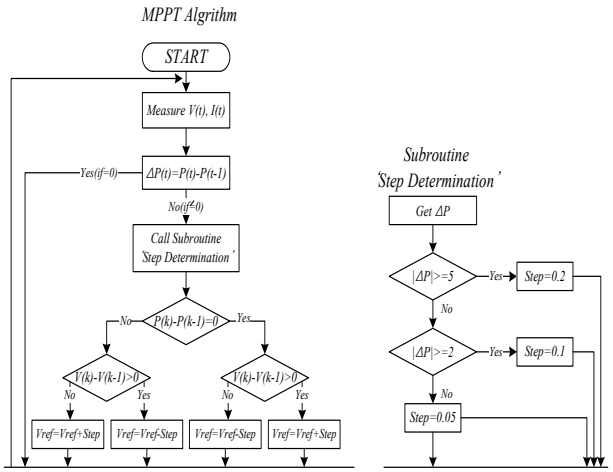



**그림 5** 개선된 P&O MPPT 알고리즘 순서도
**Fig. 5** The improved P&O MPPT algorithm flowchart

## 3. 시뮬레이션 및 실험 성능 결과

본 논문에서는 PSIM 시뮬레이션를 이용하여 태양전지의 출력특성 및 MPPT의 제어기법의 성능을 비교분석 하였으며, 컨트롤러의 MPU에 MPPT 알고리즘을 적용하여 출력특성을 확인하였다. 시뮬레이션 및 실험에 사용된 태양전지 사양 및 특성은 표 2와 같다.

**표 2** 태양전지 사양
**Table 2** Specification of Solar cell

| | | |
|---|---|---|
| Maximum Power($P_{\max}$) | [W] | 50 |
| Max-Point Voltage($V_{mp}$) | [V] | 17.3 |
| Max-Point Current($I_{mp}$) | [A] | 2.90 |
| Open circuit Voltage($V_{OC}$) | [V] | 21.8 |
| Short circuit Current($I_{SC}$) | [A] | 3.20 |
| Standard Test Conditions<br>Irradiance : $(1000\,W/m^2)$<br>Air mass : 1.5<br>Temperature : $25^oC$ | | |

### 3.1 시뮬레이션

본 논문에서는 그림 6과 같이 2개의 C block을 이용하여, 태양전지 특성모델과 MPPT 제어알고리즘을 적용하고 Boost 컨버터 회로도를 구성하였으며, 일사량 조건은 1000~600[$W/m^2$], 온도는 27[$^oC$], 샘플링 시간은 5[$\mu s$] 조건으로 모의실험 하였다. 그림 7은 일사량이 1000~400[$W/m^2$] 조건에서 태양전지 특성곡선을 나타내며, 그림 8은 P&O 제어기법과 개선된 P&O 제어기법을 적용하여 일사량이 변동되는 조건에서 태양전지의 출력 전력, 전압, 전류의 특성을 나타내고 있다. 개선된 P&O 제어방법이 기존의 P&O 제어방법에 비해 Step 값을 가변함으로서 자려진동이 적고, 최대 전력점에 더 빠르게 도달하며, 전체 출력전력이 높게 나타남을 확인할 수 있다.[5]

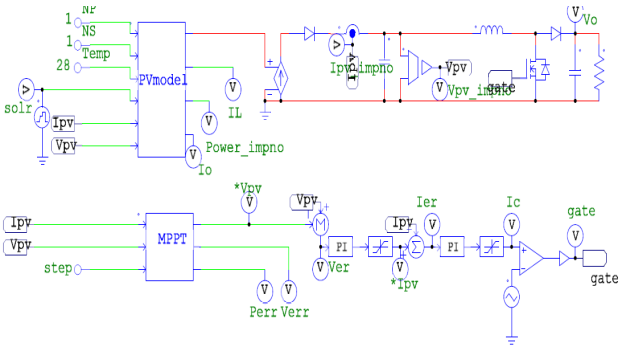



**그림 6** MPPT 제어특성 분석을 위한 PSIM 모델링
**Fig. 6** Modeling for MPPT control characteristics analysis

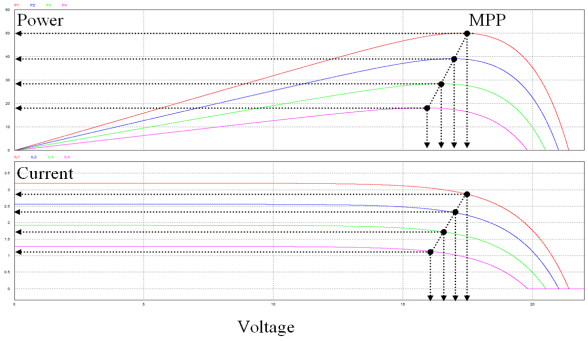



**그림 7** 일사량에 대한 PV 출력특성
**Fig. 7** Output characteristics of PV about insolation

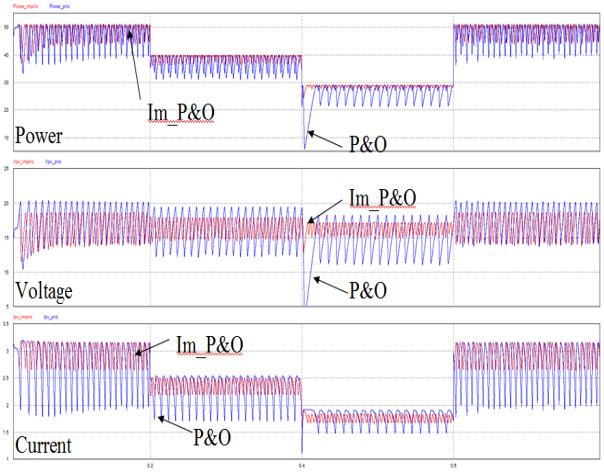



**그림 8** 일사량에 대한 MPPT 출력특성 비교
**Fig. 8** Comparison of MPPT characteristics about insolation

### 3.2 실험구성 및 결과

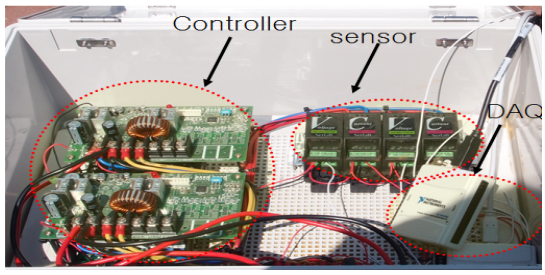
동일조건에서 MPPT의 제어기법의 특성을 분석하기 위하여 그림 9와 같이 2개의 태양전지 모듈과 컨트롤러에 2[kW]-2[Ω] 코일저항과 12[V] 연축전지를 결선한 후 센서 및 데이터 수집보드를 통해 출력특성을 확인하였으며, 실험 환경조건은 일사량 400~700[$W/m^2$], 온도 27~28[$^oC$]이다.

그림 10은 일사량이 가장 높을 때의 P&O 제어기법과 개선된 P&O 제어기법을 적용한 태양전지 출력특성으로 시뮬레이션과 동일하게 개선된 P&O 제어기법이 자려진동 폭이 적고 출력특성이 높게 나타남을 확인 할 수 있다. MPPT 비교 실험결과 출력전압의 평균오차는 약 600[$mV$]로 나타났으며, 전압의 변동범위를 확인할 수 있다. 출력전류의 평균오차는 약 300[$mA$]로 나타났으며, 출력전력은 약 0.8[$W$]의 차이를 갖는다.

그림 11은 P&O 제어기법과 개선된 P&O 제어기법을 이용한 배터리 충전상태의 실험결과로서, 개선된 P&O 제어기법이 기존의 P&O 제어기법에 비해 배터리 충전전압 상태가 약 0.9[V] 더 높게 나타남을 확인할 수 있다.

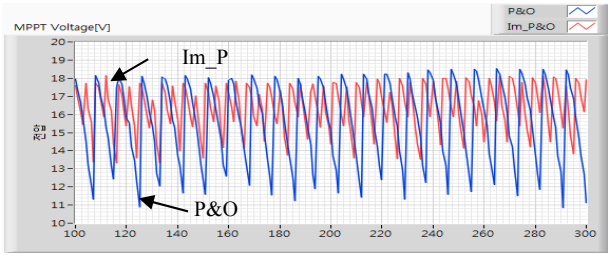
실험결과 개선된 P&O 기법이 기존의 P&O 기법에 비해 출력특성이 우수하고, 설계한 컨트롤러에 부합하다는 것을 확인할 수 있다.

(a) 50W급 MPPT 실험구성

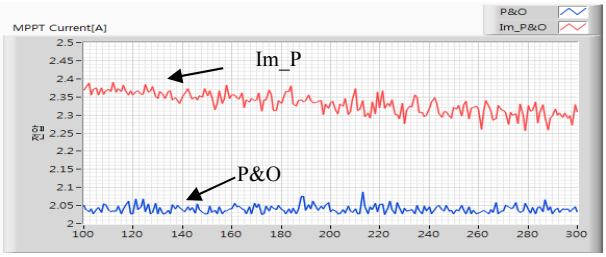



(b) 데이터 측정을 위한 구성

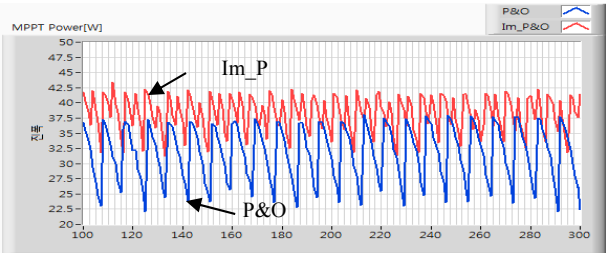
**그림 9** MPPT 비교분석을 위한 실험구성
**Fig. 9** The experimental configuration for MPPT comparative analysis




(a) 출력전압




(b) 출력전류




(c) 출력전력

**그림 10** P&O와 개선된 P&O MPPT의 출력 특성 비교
**Fig. 10** Output characteristics comparison of MPPT

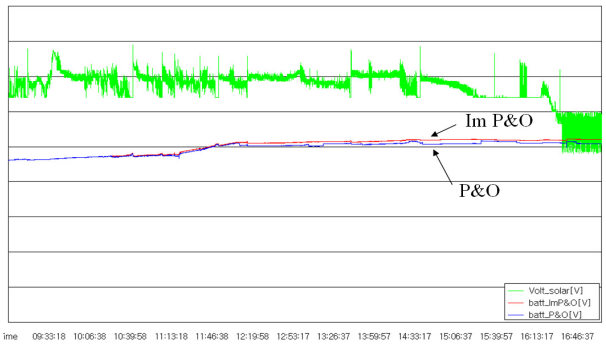



**그림 11** P&O와 개선된 P&O MPPT를 이용한 배터리 충전 상태 비교

**Fig. 11** P&O and improved P&O MPPT battery charge status comparison


### 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 00042653)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.


### 참 고 문 헌


[1] 이승환 외 6명, "PWM 쵸퍼와 전류형 인버터를 이용한 계통연계형 태양광발전 시스템", 전력전자논문지 제3권 제4호, 1998.

[2] D.P. Hohm, M.E. Ropp, "Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed", IEEE, Conference Record of the Twenty-Eighth, pp. 1699-1702, 2000.

[3] Roger Gules, Juliano De Pellegrin Pacheco, Heloi Leaes Hey, "A Maximum Power Point Tracking System with Parallel Connection for PV Stand-Alone Application", IEEE Transactions on power electronics, VOL.55, 2674-2675, 2008.

[4] 김재현 외 9명, "태양광 LED 조명 분수 시스템 개발", 중소기업청, 2010-2011년 산학연 공도기술개발사업 최종보고서, 2011.06.

[5] 이용식, 김남인, 정성원, 김재현, "독립형 태양광 발전시스템의 MPPT 제어기법 비교", 대한전기학회 제42회 하계학술대회 논문집, pp. 1386-1387, 2011년.

[6] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino and M. Osakada, "Maximum Photovoltaic Power Tracking: an Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proc. of IEE generation, Transmission, and Distribution, Vol. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995.

[7] E. Koutroulis, K. Kalairzakis and N.C. Voulgaris, "Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System", IEEE trans, Power Electronics, Vol. 16, pp. 46-54, Jan. 2001.

[8] E.B, Youssef, P. Stephane, E. Bruno, A. Corinne, "New P&O MPPT algorithm for FPGA implementation", IEEE, Conference IECON 2010-36th, pp. 2868-2873, 2010.


## 저 자 소 개

**이 용 식 (李 龍 植)**

1983년 12월 9일 생. 2008년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기전자정보통신공학부 박사과정

E-mail : ys5675@sunchon.ac.kr

**정 성 원 (鄭 盛 元)**

1975년 11월 26일 생. 2002년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 졸업(박사). 현재 ㈜줌톤 재직

E-mail : ww180@naver.com

**김 남 인 (金 男 仁)**

1981년 12월 27일 생. 2007년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 석사과정. 현재 ㈜파루 재직

E-mail : kni27@naver.com

**김 재 현 (金 在 顯)**

1956년 1월 25일 생. 1977년 홍익대 전기공학과 졸업. 1989년 University of Texas at Arlington 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(박사). 현재 국립 순천대학교 전기제어공학과 교수

E-mail : jhg@sunchon.ac.kr