

## 태양광 발전시스템의 새로운 하이브리드 MPPT

## A Novel Hybrid MPPT Control for Photovoltaic System

김수빈\* · 조영민\* · 김형진\* · 송승호\* · 최주엽\*† · 최익\*\* · 이영권\*\*\*  
Kim Soo-Bin\*, Jo Yeong-Min\*, Kim Hyeong-Jin\*, Seung-Ho Song\*,  
Choi Ju-Yeop\*† , Choy Ick\*\* and Lee Young-Kwoun\*\*\*

(Received 26 February 2015 ; accepted 6 April 2015)

**Abstract :** The performance of a photovoltaic array is affected by temperature, solar insolation, partial shading effect, and array configuration. Maximum power point tracking(MPPT) techniques are employed in photovoltaic systems to make full utilization of the PV array output power which depends on solar irradiation and ambient temperature. As much as MPPT is important in photovoltaic systems, many MPPT techniques have been developed. In this paper, several major existing MPPT methods are comparatively analyzed and novel hybrid MPPT algorithm is proposed. The proposed hybrid MPPT algorithm is developed in combination with traditional MPPT methods to complement each other for improving performance and mitigating partial shading effects. The proposed algorithm is implemented and validated using MATLAB/Simulink simulation tool.

**Key Words :** 최대전력추종(Maximum Power Point Tracking; MPPT), Perturbation and Observation(P&O), 증분 컨덕턴스(Incremental Conductance; IncCond), 선형 근사화(Linear approximation), 부분음영 효과(Partial shading effect), 태양광 어레이(Photovoltaic array)

\*김수빈 : 광운대학교 전기공학과  
\*조영민 : 광운대학교 전기공학과  
\*김형진 : 광운대학교 전기공학과  
\*송승호 : 광운대학교 전기공학과  
\*† 최주엽(교신저자) : 광운대학교 전기공학과  
E-mail : juyeop@kw.ac.kr, Tel : 02-940-5146  
\*\*최익 : 광운대학교 로봇학부  
\*\*\*이영권 : 금비전자

\*Kim Soo-Bin : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.  
\*Jo Yeong-Min : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.  
\*Kim Hyeong-Jin : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.  
\*Seung-Ho Song : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.  
\*† Choi Ju-Yeop(corresponding author) : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.  
E-mail : juyeop@kw.ac.kr, Tel : 02-940-5146  
\*\*Choy Ick : Department of Robot Engineering, Kwangwoon University.  
\*\*\*Lee Young-Kwoun : Keumbee Electronics

## 기 호 설 명

$I_{PH}$	: 광 발생 전류 (A)
$I_{out}$	: 부하에 흐르는 전류 (A)
$R_S$	: 태양전지 외부 출력 저항 ( $\Omega$ )
$R_{SH}$	: 태양전지 내부 병렬 저항 ( $\Omega$ )
B	: 재료계수
k	: 볼츠만 상수( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )
T	: 절대온도
q	: 전하량 ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

## 1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지 사용량의 증가와 화석연료 사용에 따른 환경문제로 인해 신·재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 신·재생에너지는 친환경적이며 지속가능한 에너지원으로 미래에는 화석연료를 대체할 것으로 평가받고 있으며, 기술 선진국의 주도하에 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 태양광 에너지는 무한정한 에너지와 저렴한 유지비용 및 설치의 용이함 등의 많은 이점으로 각광을 받고 있으며 이에 따른 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 태양광 발전 시스템은 기상조건이나 설치 장소에 영향을 받으며 설치비용이 높다는 단점도 지니고 있다.

태양전지는 전류-전압 특성곡선 또는 전력-전압 특성곡선이 비선형적이며 온도나 일사강도에 따라 출력이 변동되는 특성을 지니고 있다. 태양광 발전 시스템은 다른 신재생 에너지원에 비해 발전효율이 낮기 때문에 태양전지의 특성에 따른 최대전력점을 추종하는 기술이 필수적이다. 여기서 일사강도나 온도의 변화에 따른 최대전력점을 추종하는 기술을 최대전력추종(Maximum Power Point Tracking; MPPT) 제어라고 한다. 태양광 발전 시스템에서 MPPT 제어의 중요도가 높은 만큼 MPPT

제어에 대한 많은 연구가 진행되었으며, 다양한 기법들이 제안되어 왔다. 지금까지 제안된 MPPT 제어 기법들은 수행원리에 따라 각 장단점을 지닌다. 본 논문에서는 현재까지 제안되었던 주요 MPPT 기법 중 몇 가지를 소개하고, 그 특성을 비교하였다. 또한 기존 여러 MPPT 제어 알고리즘에서 취약한 문제를 가지는 부분음영(Partial shading) 효과에 대해 설명하였다. 이를 토대로 주요 MPPT 기법들을 장점은 살리고 단점은 상쇄하는 방향으로 결합하여 부분음영에도 대비된 MPPT 제어 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안된 MPPT 제어 알고리즘을 MATLAB/Simulink 프로그램을 통해 구현된 100kW급 태양광 발전 시스템에 적용하여 그 특성을 확인하였다.

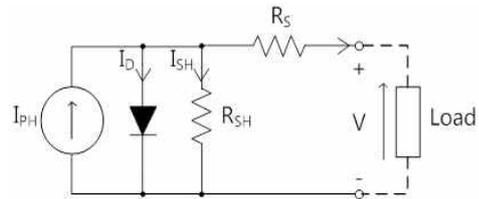


Fig. 1 Equivalent circuit of a photovoltaic cell

## 2. 태양전지의 특성

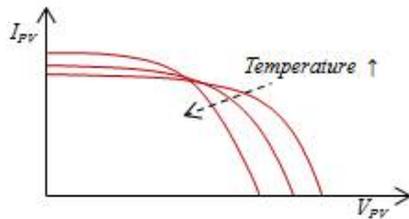
태양전지는 Fig. 1과 같은 등가회로로 나타낼 수 있다. 이러한 등가회로를 기반으로 태양전지를 수식적으로 나타내면 식(1)과 같다.1)

$$I_{out} = I_{PH} - A \exp\left(\frac{qV}{BkT} + I_{out}R_S\right) - 1 - \frac{V + I_{out}R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

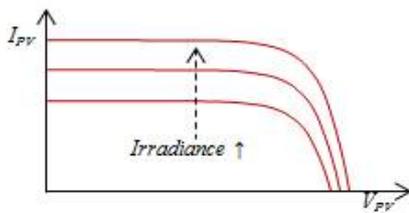
여기서, V: 태양전지의 출력전압 [V],  $I_{PH}$ : 광 발생 전류 [A],  $I_{out}$ : 부하에 흐르는 전류 [A], V: 출력전압 [V],  $R_S$ : 외부 출력 저항 [ $\Omega$ ],  $R_{SH}$ : 내부 저항 [ $\Omega$ ], B: 재료계수, k: 볼

츠만 상수( $1.38 \times 10^{-23}$ ) [ $J \cdot K^{-1}$ ],  $T$ : 절대온도 [ $K$ ],  $q$ : 전하량( $1.6 \times 10^{-19}$ ) [ $C$ ],  $A$ : pn접합의 재료 특성이 온도에 따라 결정되는 계수이다.

태양전지는 일사강도나 온도, 동작 전압에 따라 출력이 변동된다. Fig. 2-a는 온도에 따른 I-V 특성곡선을 나타내며, Fig. 2-b는 일사강도에 따른 I-V 특성곡선을 나타낸다. Fig. 2와 같이 태양전지는 온도와 일사강도에 따라 비선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 본 논문의 3장에서는 이러한 비선형적인 출력특성을 가지는 태양전지로부터 최대전력을 출력하도록 제어하는 주요 MPPT 기법에 대해서 다루고 있다.



a) Temperature dependent I-V characteristic curve of PV cell



a) Irradiance dependent I-V characteristic curve of PV cell

Fig. 2 I-V characteristic curve of a photovoltaic cell according to temperature and irradiance

### 3. 주요 MPPT 제어 기법

태양전지의 출력은 온도와 일사강도, 동작 전압에 따라 비선형적인 특성을 가지는데, 태양전지가 온도와 일사강도에 따른 최대전력을 출력하기 위해서는 최대전력 동작점에서 출력

전압을 유지하여야 한다. 이러한 제어를 MPPT 제어라 한다. 태양전지는 여러 요인에 의해서 출력이 변화되는 만큼 다양한 MPPT 제어 기법이 제안되어 왔다. 본 장에서는 기존에 제안되었던 MPPT 제어 기법 중 주요한 MPPT 제어 기법 몇 가지를 소개하고 그 특성을 비교하였다.

#### 3.1 Perturbation and Observation(P&O) 기법

Perturbation & Observation(P&O) 기법은 태양전지 어레이의 출력전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 이전의 출력 Power와 현재의 출력 Power를 비교하여 최대전력 동작점(MPP)을 찾는 방법이다. P&O 기법은 제어가 간단하여 빠른 응답을 가지는 장점이 있지만, 최대전력점에서 태양전지 출력전압이 연속적으로 미소 진동하여 어레이 출력전력의 손실을 발생하고, 일사량의 변화가 심할 경우 정상적인 제어가 어렵다는 단점을 가지고 있다. Fig. 3는 P&O기법의 알고리즘 순서도를 나타내며, Fig. 4는 P&O 기법의 동작원리를 나타낸다.

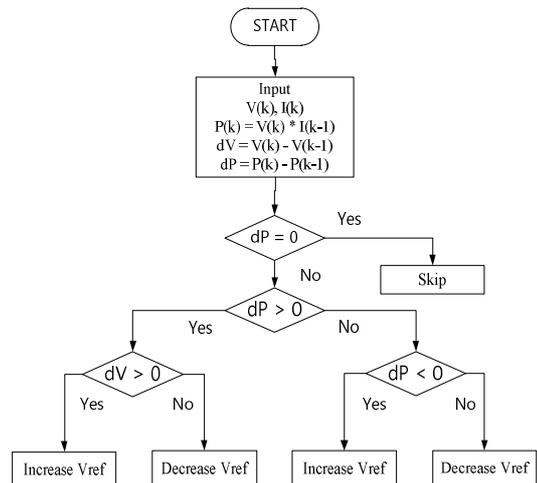


Fig. 3 The flow chart of P&O algorithm

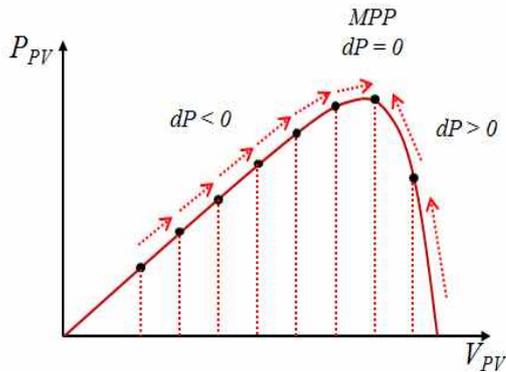


Fig. 4 Process illustration P&O algorithm

### 3.2 Incremental Conductance(IncCond) 기법

Incremental Conductance(IncCond) 기법은 측정된 전압과 전류를 통해 PV 어레이의 출력을 계산하고, 전압의 변화량과 출력전력의 변화량에 따라 동작점을 증감시키며 최대전력점을 추종하는 제어기법이다. 최대전력점에서의 P-V 특성곡선의 기울기는 0이며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \times I)}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} = 0 \quad (2)$$

위 수식은 부하 임피던스가 최대동작점에 있어서 태양전지 어레이의 V-I 곡선의 기울기에 동등하다는 것을 나타내고 있다. Fig. 5는 IncCond 알고리즘을 나타내며, Fig. 6는 IncCond 알고리즘의 동작원리를 나타낸다. IncCond 기법은 최대전력점 도달 시 태양전지의 출력이 안정된 특성을 지닌다. 그러나 연산수행에 비교적 복잡하기 때문에 연산 수행이 가능한 프로세서가 필요하다. 또한 증분 컨덕턴스 계산 시 나누기 연산이 수행되는데 나누기 연산에서 분모는 0이 될 수 없으므로 전압 증분 값 연산 시 제한 값을 설정해주어야 한다.

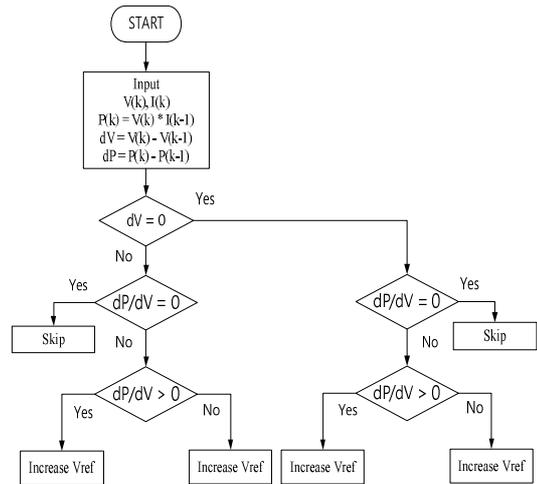


Fig. 5 The flow chart of P&O algorithm

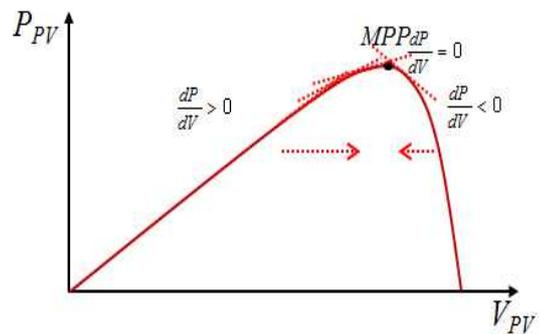


Fig. 6 Process illustration IncCond algorithm

### 3.3 Linear approximation(LA) 기법

Linear Approximation(LA) 기법은 일사강도나 온도의 변화에 따른 최대전력점들을 하나의 직선으로 근사화한 후 관측된 전력을 선형화된 직선(MPP curve)에 대입하여 최대전력점을 추종하는 기법이다. LA 기법에서는 MPP curve와 P-V curve가 교차하는 지점을 최대전력점으로 인식하게 된다. LA 기법은 일사강도나 온도의 변화에 따른 최대전력점을 신속히 추종할 수 있는 장점을 지닌다. Fig. 7은 LA기법의 알고리즘 순서도를 나타낸다.

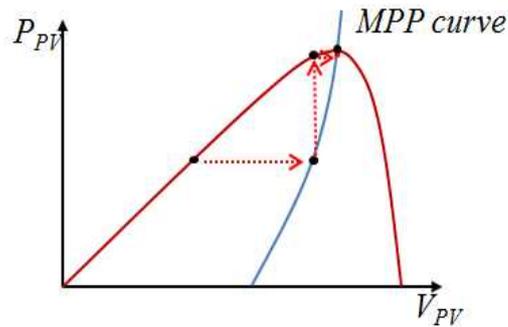


Fig. 7 Process illustration LA algorithm

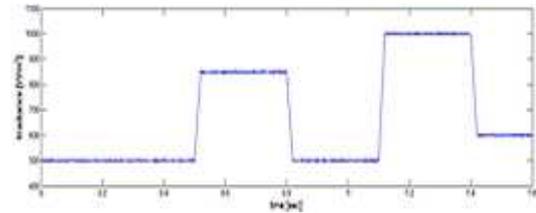
### 3.4 각 MPPT 기법간의 특성 비교

앞서 소개한 각 MPPT 기법들을 비교하였을 때 연산 수행 복잡성에서는 P&O 기법의 알고리즘이 단순하였으며 IncCond 기법이 가장 복잡하였다. 동적 응답속도에서는 LA 기법이 가장 빨랐으며, 최대전력지점에 도달 시 안정도에는 IncCond 기법이 우수하였다. Fig. 8은 MATLAB/Simulink에서 Table. 1의 파라미터를 가지는 모듈을 5직렬 66병렬로 구성된 100kW 태양광 어레이를 구현하여 각 MPPT 제어 기법을 적용하였을 때 그 특성을 확인한 파형이다.

Table.1 PV module parameters

Symbol	Description	value
$V_{oc}$	Open circuit voltage of PV module	64.2 [V]
$I_{sc}$	Short-circuit current of PV module	5.96 [A]
$R_s$	Series resistance in PV module	38 [m $\Omega$ ]
$R_p$	Shunt resistance in PV module	993.51 [ $\Omega$ ]
$N_s$	Number of series connected cells per module	96
$V_{MP}$	Voltage at maximum power under standard test condition	54.7 [V]
$I_{MP}$	Current at maximum power under standard test condition	5.58 [A]
$P_{MP}$	Maximum power under standard test condition	305.2 [W]

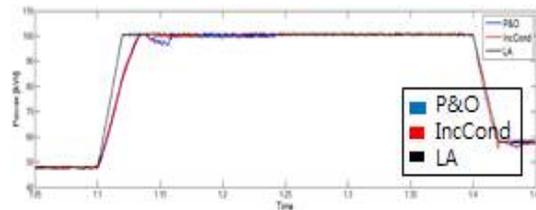
※ Standard test condition:  
Irradiance=1000[W/m<sup>2</sup>], cell temperature=25[°C]



a) simulated irradiance



b) Comparison of output of P&amp;O, IncCond and LA at variable irradiance



c) magnified waveform inside the circle in Fig. 8-b)

Fig. 8 Comparison of output of P&amp;O, IncCond and LA

### 3.5 부분음영에 따른 각 MPPT 특성 비교

태양광 발전 시스템에서는 시스템이 요구하는 전기적 사양을 가지기 위해 태양광 모듈을 직렬 혹은 병렬로 연결하여 어레이로 구성하여 사용한다. 태양광 어레이의 열을 구성하는 모듈을 증가시킬 경우, 어레이의 출력전류는 증가하지 않고 출력전압이 증가한다. 어레이 열의 병렬연결을 증가시킬 경우, 출력전압은 증가하지 않고 출력전류가 증가한다. 어레이를 구성하는 모듈의 직병렬 연결은 시스템에서 요구하는 사양에 따라 설정된다.

그런데 고층건물이나 구름 등의 원인으로 태양광 어레이에 부분음영이 발생할 경우, 어레이를 구성하는 모듈간의 출력 불평형이 발생되며,

Fig. 9과 같이 태양전지의 P-V 특성곡선에 다수의 국부적인 최대전력점(Local Maximum Power Point; LMPP)이 발생될 수 있다. LMPP가 발생할 경우 일반적인 MPPT 제어 방식으로는 전체 특성곡선의 최대전력점(Global Maximum Power Point; GMPP) 추종이 어렵다. 앞에서 설명한 세 가지 MPPT 제어 기법들 역시 부분음영에 취약한 문제를 가지고 있다.<sup>1)2)</sup> Fig. 10은 10%의 부분음영 발생 시 P-V 특성곡선과 각 MPPT 기법의 출력을 비교한 파형이다.

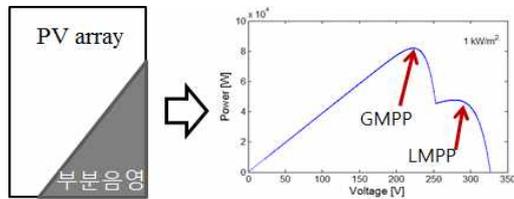
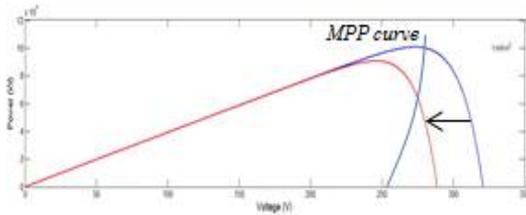
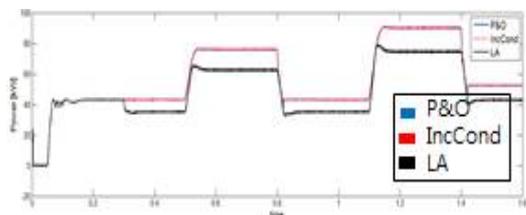


Fig. 9 P-V characteristic curve of PV array according to partial shading



a) P-V characteristic curve under partially shaded conditions



b) Comparison of output of P&O, IncCond and LA

Fig. 10 Comparison of output power of P&O, IncCond and LA under partially shaded

기존 MPPT 기법 중 부분음영에 대비된 방

식으로는 Power Curve Slope 기법<sup>4)</sup>과 Scanning type의 기법 등이 있다. Power Curve Slope 기법은 P-V 특성곡선 중 하강에서 상승하는 변화를 감지할 경우 이를 특이점으로 인지하여 LMPP를 검출하는 방식으로 각 LMPP를 비교하여 최대전력점을 추출한다. Scanning type의 기법의 경우, P-V 특성곡선 또는 I-V 특성곡선을 전압 또는 전류를 일정한 크기가 변시키며 스캐닝하는 방식으로 최대전력점을 추출한다.

Power Curve Slope 기법은 급격하게 변하는 부분음영 상태에서는 만족스러운 성능을 얻기 어렵다. Scanning type의 기법은 최단 거리로 최대전력점을 추종하지 못하고 동작점 전체구간의 출력을 확인 후에 최대전력점을 얻을 수 있다는 면에서 다소 비효율적이라 평가된다.<sup>1)3)</sup>

#### 4. 제안하는 MPPT 기법

LA 기법은 본 논문에서 비교된 MPPT 제어 알고리즘 중에서 태양광 발전 시스템의 정상운전 시 정확성 및 속응성 면에서 특성이 매우 우수하였다. 그러나 온도 및 일사강도 외에 성능저하에 따른 특성변화와 같은 출력변동에 원인이 될 수 있는 요소들에 대해 능동적으로 대처하지 못하는 단점을 가지기 때문에 속응성이 요구되는 구간에서 동작되는 것이 적합하다. 그러나 안정도가 요구되는 최대전력점에 근접한 구간에서는 부적합하다.

IncCond 기법은 LA 기법에 비해 속응성은 떨어졌지만 출력변동에 원인이 될 수 있는 요인들에 대해 어느 정도 능동적으로 반응할 수 있다는 점에서 LA 기법의 안정도 문제를 보완해 줄 수 있는 제어 기법이다.

동작점이 최대전력점에 근접한 구간에서는

IncCond 기법을 적용하고 최대전력점으로부터 동작점이 떨어져있을 경우에는 LA 기법을 적용하여 운전하게 된다면 태양광 발전 시스템의 정상운전 시에는 만족스러운 성능을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 이 두 기법은 부분음영에 따른 다수의 LMPP 발생시 GMPP를 추종하는데 어려움이 있으므로 그에 따른 대비가 필요하다.

따라서 본 논문에서 제시하는 MPPT 제어 알고리즘에는 정상운전 시 최대전력점으로부터 현재의 동작점이 떨어져 있는 경우, 추종속도가 높은 LA 기법을 적용하였으며, 최대전력점 도달 시에는 정상상태에서 안정적인 IncCond 기법을 적용하였다. 그리고 부분음영발생에 따른 LMPP 발생 시에 대비하여 동작점을 일정하게 이동시키며 P-V 곡선을 스캐닝하는 방식을 적용하였다. 그런데 부분음영 발생 시에만 P-V 곡선을 스캐닝하는 방식을 적용하려면, 부분음영 발생 상황을 검출할 수 있는 방식이 필요하다.

제안하는 MPPT 알고리즘의 동작원리는 다음과 같다. LA 기법에 적용된 MPP 커브를 기준으로  $\pm$ 의 구간을 설정한다. 설정된 구간에서 동작점이 벗어나면, 동작점이 최대전력점으로부터 일정 크기 이상으로 벗어났다고 판단하여 LA기법을 수행한다. LA기법을 통해 동작점이 설정된 구간 안에 도달하게 되면 P-V 커브의 기울기를 검사한다. 이때 기울기가 0에 근접하면 현재의 동작점이 최대전력점에 근접하다 판단하고 IncCond 기법으로 전환한다. 그러나 현재의 동작점에서의 기울기가 일정 크기 이상일 시에는 MPP 커브에서 최대전력점이 벗어났다고 판단하고 P-V 커브 스캐닝을 수행한다. P-V 커브 스캐닝을 통해 GMPP를 검출하면 GMPP에서의 전력과 전압의 크기를 기록하고 동작점을 GMPP로 이동시킨다. 동작점이 GMPP로 이동했을 때 IncCond 기법으로 전환하여 MPPT

를 수행한다. IncCond 기법으로 추종된 MPP에서의 전력과 전압의 크기는 기록된 GMPP에서의 전력과 전압의 크기와 비교하여 일정 크기 이상의 차이가 발생하면 P-V 커브 스캐닝을 수행하였을 때의 상황과 현재 상황이 달라졌다 판단하여 LA 기법으로 전환되어 다시 부분음영 발생여부를 검사한다. 본 논문에서는 P-V 커브 스캐닝을 동작점의 30~80% 구간에서 일정한 증분값을 가지고 증가시켜 P-V 커브를 스캐닝하도록 설계하였다. Fig. 11은 제안하는 MPPT 기법의 알고리즘을 나타내며, Fig. 12는 알고리즘의 동작 원리를 나타낸다.

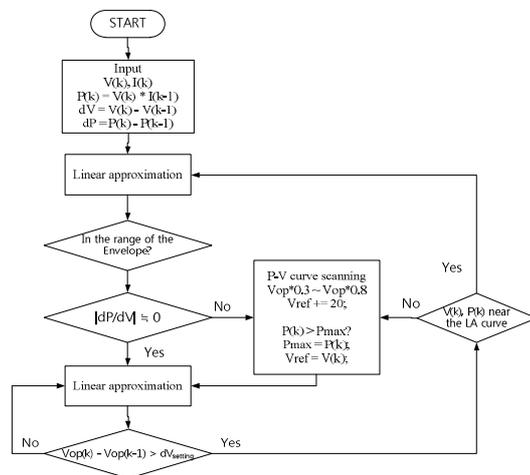


Fig. 11 algorithm of the proposed MPPT

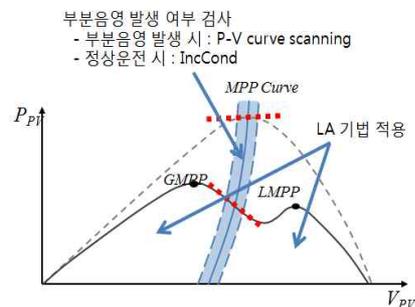


Fig. 12 Process illustration proposed MPPT algorithm

## 5. 시뮬레이션

제안하는 MPPT 제어 알고리즘을 검증하기 위해 MATLAB/Simulink로 구현한 100kW 급 계통연계 태양광 발전 시스템에 적용하여 그 특성을 확인 하였다. 시뮬레이션 모델에서 태양광 어레이의 MPPT 제어는 DC-DC Boost 컨버터에 적용하였으며, Boost 컨버터의 파라미터는 Table. 2와 같다. 시뮬레이션은 정상운전 시와 부분 음영 시를 모의하였으며, 시뮬레이션 초기 과도상태를 고려하여 MPPT 제어를 시뮬레이션 시작하고 0.3초 후에 적용하였다. 시뮬레이션에서 제안된 MPPT 제어기에 적용된 MPPT 기법마다 Flag를 설정하여 MPPT를 동작시켰으며, Flag에 따른 MPPT 제어 동작은 Table 1과 같이 설정하였다. Fig. 13은 시뮬레이션으로 구현한 모델을 나타낸 것이다.

Table.2 Boost converter parameters

Symbol	Description	value
$V_{in}$	Input voltage	270 [V]
$V_{out}$	Output voltage	500 [V]
$f_{sw}$	Switching frequency	5 [kHz]
L	Input inductance	5 [mH]
$C_{dc}$	DC link capacitance	6000 [ $\mu$ F]

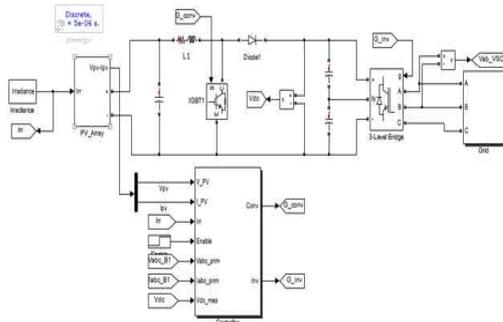


Fig. 13 Simulation model of PV system using MATLAB/Simulink

### 5.1 시뮬레이션 결과

Fig. 14은 정상운전 시 설정된 일사강도를 나타내며, Fig. 15는 정상운행 시 일사강도 변화에 따른 제안된 MPPT 제어 출력과 LA 기법

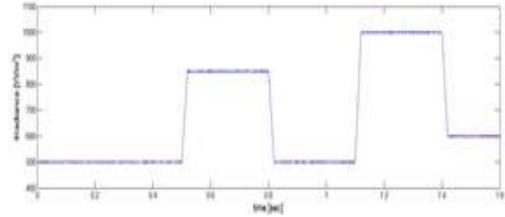


Fig. 14 irradiance

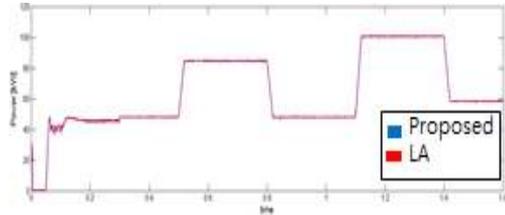


Fig. 15 Comparison of output of proposed method and LA at variable irradiance

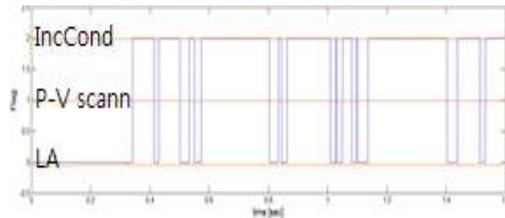


Fig. 16 Flag of proposed method at normal operating condition

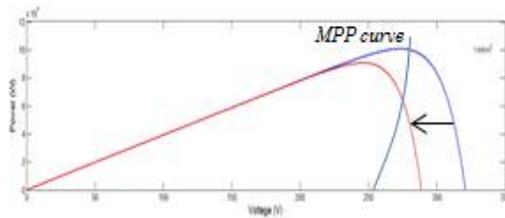


Fig. 17 P-V characteristic curve under partially shaded conditions

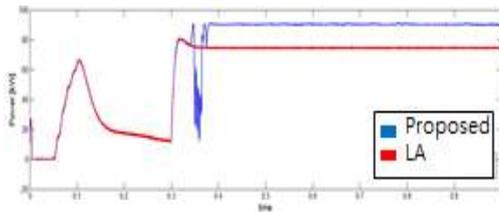


Fig. 18 Comparison of output of proposed method and LA at variable irradiance

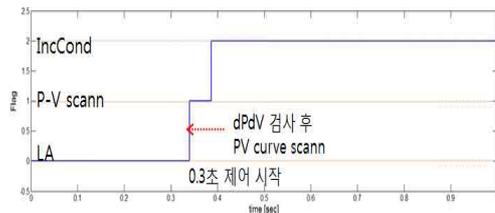


Fig. 19 Flag of proposed method under partially shaded conditions

출력을 비교한 파형이다. Fig. 15에서 정상운전 시 LA 기법만 단독으로 수행하였을 때와 거의 일치하는 결과를 얻었다. Fig. 16을 보면 Flag가 1(LA 기법 동작)과 3(IncCond 기법 동작)을 번갈아 가며 동작하였다. 이를 통해 부분음영이 검출되지 않았으며, 주로 일사강도의 가변이 큰 구간에서 LA 기법이 동작되고, 일사강도의 가변이 크지 않은 구간에서 대부분 IncCond 기법이 적용됨을 확인할 수 있다.

Fig. 16은 부분음영 발생 시 PV 어레이의 P-V 특성곡선을 나타내며, Fig. 17은 부분음영 발생 시 제안된 MPPT 기법의 출력과 LA 기법 단독으로 운전했을 때의 출력을 비교한 파형을 나타낸다. 두 파형을 비교해보면 LA 기법만 단독으로 운전한 경우, GMPP를 추종하지 못하였으나 제안된 MPPT 기법의 경우 GMPP를 수확하여 추종하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 18을 보면 제안된 MPPT 기법은 시뮬레이션이 시작하고 0.3초 후에 MPPT를 수행하여 대략 0.35초까지 LA 기법으로 동작하고, 0.35초에서 dP/dV

를 검사하여 부분음영을 검출하였다. 그 후 P-V curve scanning 기법으로 전환하여 GMPP를 수확하여 동작점을 이동시키고 IncCond 기법으로 전환하여 MPPT를 수행하였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 기존에 나와 있는 주요 MPPT 기법들을 비교하여 분석하였으며, 이를 기반으로 각 기법의 장점들을 살리고 단점을 상쇄하여 상호 보완하고 부분음영에도 대비된 MPPT 제어 알고리즘을 결합하였다.

제안된 MPPT 제어 알고리즘에는 IncCond 기법과 LA 기법, P-V curve scanning 기법을 결합을 하였다. 제안된 알고리즘은 속응성과 정상운전 시 안정성을 높이고, 부분음영에 의해 다수의 LMPP가 발생하더라도 정확하게 GMPP를 추종하도록 설계하였다. 이를 MATLAB/Simulink로 구현한 100kW 태양광 발전 시스템에 적용하여 그 특성을 확인하였다.

향후 Solar simulator(APL)를 포함한 3-4kW 급 태양광 인버터에 실제로 본 알고리즘을 적용하여 그 타당성을 입증하도록 하겠다.

## 후 기

본 연구는 광운대학교 교내연구비 지원사업과 미래창조과학부에서 지원하는 학연 공동 기업부설연구소 연계 후속 연구개발 지원 사업에 의해 수행되었습니다.

## Reference

1. Shim, J.-H., "Analysis of various MPPT algorithms for PCS", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31 No. 2, 2011, pp16~21.
2. Young-Sik Choi, "MPPT Control Methods for

- Photovoltaic System", Journal of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 1, 2013, pp29~36.
3. A. Bidram, A. Davoudi and R. S. Balog, "Control and Circuit Techniques to Mitigate Partial Shading Effects in Photovoltaic Arrays", IEEE J. Photovoltaics, Vol. 2. No. 4, pp 532-546, Oct. 2012.
  4. Kazutaka Itako, " New I-V Characteristics Scan-Type MPPT Control Method for PV Generation System", Journal of Technology Innovations in Renewable Energy, pp 87~91, Jen. 2012.
  5. Shim, J.-H, "A New Compensation MPPT Algorithm for Mismatched Solar Cell", 2011 Power Electronics Annual Conference, pp.76~77, 2011.7.
  6. S.-B. Kim, Y.-M. Jo, J.-Y. Choi, S.-H. Song, Ick Choy, Y.-K. Lee, "A Novel Hybrid MPPT Control for Photovoltaic System", 2014 Power Electronics Autumn Conference, pp. 7-8, 2014.11.