creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000240079

2010년 8월
교육학석사(기술 · 가정교육)학위논문

Matlab-Simulink를 이용한 태양전지의 MPPT 제어특성에 관한 연구

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

이 현 중

Matlab-Simulink를 이용한 태양전지의 MPPT 제어특성에 관한 연구

A Study on the MPPT Control Characteristics of Solar Cell using Matlab-Simulink

2010年 8月 日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

이 헌 중

Matlab-Simulink를 이용한 태양전지의 MPPT 제어특성에 관한 연구

지도교수 조 금 배

이 논문을 교육학석사(기술 · 가정교육)학위
청구논문으로 제출함.

2010年 4月 日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

이 헌 중

이헌중의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 _____인

심사위원 조선대학교 교수 _____인

심사위원 조선대학교 교수 _____인

2010年 6月 日

조선대학교 교육대학원

목 차

ABSTRACT

I. 서 론 1

II. 태양광발전 MPPT 제어 3
A. 태양전지의 특성 3
1. 태양전지의 동작특성 3
2. 태양전지의 전기적 특성 8
B. MPPT 제어 10
1. DC-DC Boost 컨버터 10
2. MPPT 제어 알고리즘 17

III. 시뮬레이션 및 고찰 26
A. 태양전지 출력특성 26
B. MPPT 제어 특성 28

IV. 결 론 34

참고문헌

Table

Table 3-1. Parameters of photovoltaic module ····· 26

Figures

Fig. 2-1 The equivalent circuit of solar cell ····· 4

Fig. 2-2 V-I characteristics curve of solar cell ····· 5

Fig. 2-3 V-I characteristics curves at different insolation ····· 8

Fig. 2-4 V-I characteristics curve at different temperature ····· 9

Fig. 2-5 The equivalent circuit of boost converter ····· 11

Fig. 2-6 A basic waveforms of boost converter ····· 12

Fig. 2-7 Flow chart of the P&O algorithm ····· 19

Fig. 2-8 Flow chart of the IncCond algorithm ····· 22

Fig. 2-9 Getting radical values using Newton Method ····· 24

Fig. 2-10 Flow chart of the Newton method algorithm ····· 25

Fig. 3-1 PV control system using simulink ····· 27

Fig. 3-2 I-V characteristics curve at difference insolation ····· 27

Fig. 3-3 P-V characteristics curve at difference insolation ····· 27

Fig. 3-4 Whole control system using simulink ····· 28

Fig. 3-5 Internal circuit of PV system ····· 28

Fig. 3-6 MPPT control circuit using simulink ····· 29

Fig. 3-7 DC-DC Boost converter using simulink ····· 29

Fig. 3-8 P&O controlled insolation changes in the output characteristic curve of solar cells ····· 30

Fig. 3-9 P&O fast changes in solar radiation in solar output attribute control ····· 31

Fig. 3-10 IncCond controlled insolation changes in the output characteristic curve of solar cells ····· 31

Fig. 3-11 If there is no free factor controlling the IncCond ····· 32

Fig. 3-12 IncCond fast-paced changes in solar radiation in solar output attribute control ····· 32

Fig. 3-13 Newton Method controlled insolation changes in the output characteristic curve of solar cells ····· 33

Fig. 3-14 Newton Method fast changes in solar radiation in solar output attribute control ····· 33

ABSTRACT

A Study on the MPPT Control Characteristics of Solar Cell using Matlab-Simulink

By Lee Heon Jung
Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.
Major in Technology and Home-Economics Education,
Graduate School of Education, Chosun University

Now a days the world consume many energy resources. Among them electrical energy is depending on nuclear power generation hydro-power generation and thermal-power generation. Those generations have problem exhaustion resources, environmental pollution, an ecological system destruction. So recently green energy is spotlighted. In this paper research photovoltaics system using the solarpower generation in the many green energy.

This PV is effected by insolation, the cell surface temperature and load etc. Those parameters are effected to I-V characteristics curve and P-V characteristics curve that have non-linear characteristics. These parameters need to minimize energy loss and maximum power point tracking (MPPT) by PV module cell. The most well known MPPT control methods are incremental conductance (IncCond) method and perturbation and observation

(P&O) method.

In those method P&O method is increase or decrease of output voltage by PV module cell. This way is relatively simple algorithm and indicated excellent tracking performance.

In this paper describe maximum power point tracking for photovoltaics system that generally used to constant voltage control method, P&O control method algorithm, incremental conductance control method algorithm and newton method algorithm. The simulation has been done by MATLAB.

I. 서 론

세계는 많은 에너지 자원을 소비하고 있다. 그 중에서도 전기에너지는 원자력발전, 수력발전, 화력발전에 의존하고 있다. 이러한 발전방식의 주된 에너지원으로 사용되었던 화석연료는 고갈, 환경오염 및 생태계 파괴 등의 문제를 야기 시키고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 신재생에너지에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 신재생 에너지원 중 무한하며, 에너지변환과정에서 공해가 없고, 유지보수가 쉬운 청정에너지원이라 불리는 태양광발전산업은 최근 급성장하고 있다. 하지만, 태양광발전은 일사량, 온도에 따른 출력량의 변화와 에너지 변환효율이 낮다는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해 태양전지셀과 전력변환기의 효율을 높이려는 많은 연구가 진행되고 있다.[1]

태양광발전시스템의 핵심요소인 태양전지는 외부 환경조건에 따라 그 출력 전류-전압 특성 곡선(I-V Characteristics Curve) 및 전력-전압(P-V) 특성곡선이 비선형으로 변화되는 특징을 가지고 에너지 손실의 최소화와 태양전지를 효율적으로 사용하기 위해서는 온도나 일사량 등의 변화에도 항상 최대전력을 얻을 수 있도록 하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어가 필요하다. 이런 최대출력점을 추종하는 제어방법 중 가장 많이 이용되는 제어방법으로는 Incremental Conductance (IncCond)방법과 Perturbation and Observation(P&O)방법이 있다.[2,3,4]

그 중 P&O 방법은 태양전지의 출력전압을 주기적으로 증가 또는 감소시킴으로써 최대전력점을 추적하는 방식으로써 비교적 제어 알고리즘이 간단하면서도 우수한 추적 성능을 나타낸다. 하지만 외부조건이 일정하거나 아주 천천히 변화하는 경우에 최대전력점 근처에서 발진하게 되며, 또

한 외부조건이 급변하는 경우에도 최대전력점 추적에 실패하게 되는 문제점이 있다.[5]

IncCond(Incremental Conductance) 제어 알고리즘은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법으로, P&O 방식의 결점인 최대전력점에서 자려진동, 일사량변동에 따라 전압 변동폭이 따라 가지 못하는 단점을 보완하는 방법이다.

본 논문에서는 태양광발전시스템의 최대전력점 추종방식의 새로운 형태인 보다 빠르고 정확한 Newton Method 제어 알고리즘을 제안하였다. 이를 검증하기 위하여 기존의 널리 사용되고 있는 P&O제어 알고리즘, IncCond 제어 알고리즘과 더불어 Newton Method제어알고리즘을 MATLAB Simulink를 이용하여 모델링하고 제안한 Newton Method 방식의 타당성을 입증하고자 하였다.

II. 태양광발전 MPPT 제어

A. 태양전지의 특성

1. 태양전지의 동작특성

태양전지는 화학반응을 이용한 화학 전지와 다른 반도체를 이용한 고체 물리전지이며, 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)를 이용하여 직접 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자로써 태양전지 구조는 단결정 규소 태양전지의 경우 Si에 5가 원소(P, As, Sb) 등을 침투시켜 만든 N형 반도체와 3가 원소(B, Ga) 등을 침투시켜 만든 P형 반도체로 이루어진 P-N접합 구조로 되어 있다.

그림 2-1은 빛이 조사될 때 광기전력의 효과를 이용한 태양전지의 등가회로를 나타낸 것이다.

한 개의 태양전지 이상적인 다이오드와 I_{ph}의 크기를 갖는 정전류원으로 구성되어 있지만, 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 시트저항(Sheet resistor) 등을 표시하는 직렬저항 R_s와 병렬저항 R_{sh}를 고려해야 한다.[6,7]

태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자의 수는 지수 함수적으로 감소한다.

여기서 I_{ph}는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(Carrier)가 외부로부터 방해를 받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광전류이고, I_d는 암전류로

서 I_{ph} 와는 반대 방향이다. 병렬저항 R_{sh} 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시되는 누설저항을 나타내며, R_s 와 R_L 은 각각 전지 내부에 존재하는 직렬저항과 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다.

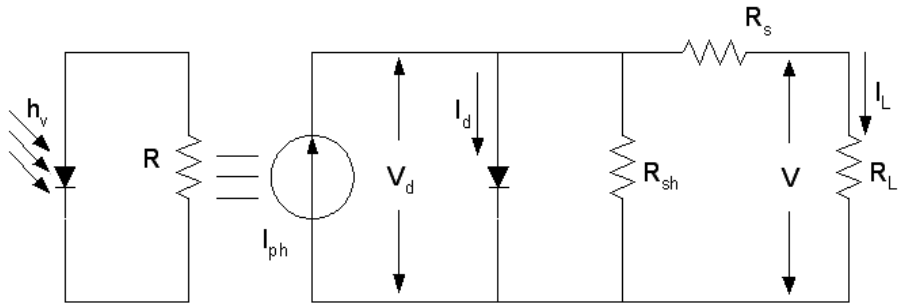


Fig. 2-1 The equivalent circuit of solar cell

등가회로에서의 태양전지의 출력전류와 전압 식 (1), (2)와 같이 된다.

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V}{R_{sh}} = I_{ph} - I_o(\exp\frac{qV}{nKT} - 1) - \frac{V}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$V_d = V + IR_s = \frac{nKT}{q} ln\left[\frac{I}{I_o} + 1\right] \quad (2)$$

여기서, I_o 는 다이오드 포화전류를 나타낸다.

식 (1)과 식 (2)로부터 직렬저항을 고려하여 태양전지의 출력전류를 구하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_o[\exp\left(\frac{q(V+I\,R_s)}{nKT}\right)-1] - \frac{V+I\,R_s}{R_{sh}} \quad (3)$$

그림 2-1에서 광 투사 시 $R_s=0$, $R_{sh}=\infty$ 인 이상적인 pn접합 다이오드인 경우 부하에 흐르는 전류 I_L 은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, I_L 은 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_o 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼쯔만 상수, q 는 전자의 전하량이다.

$$I_L = I_{ph} - I_o[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right)-1] \quad (4)$$

일정온도와 일정 일사강도 하에서 태양전지의 전압-전류 특성곡선은 그림 2-2와 같다.

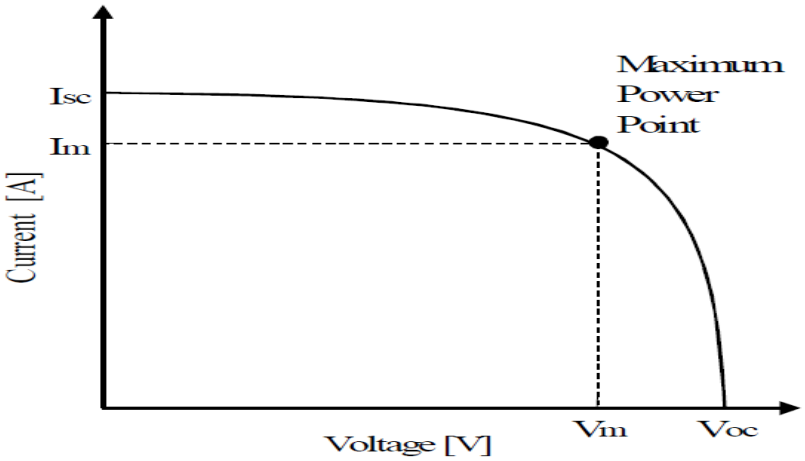


Fig. 2-2 V-I characteristics curve of solar cell

그림 2-2에서 개방 전압 V_{oc}, 단락전류 I_{sc}, 충진율 FF (Fill factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 식 (4)로 부터 $I_L = 0$ 인 조건에서 개방전압 V_{oc} 는 식 (5)와 같다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 \right) \tag{5}$$

단락전류 I_{sc} 는 $V_L = 0$ 인 조건으로부터 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다. 태양전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로서 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력 $P_{\max}$ 를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{\max} = V_m \cdot I_m \tag{6}$$

또한, 부하저항에서 소비되는 에너지 P_{out} 은 식 (7)과 같다.

$$P_{out} = V \cdot I = V \cdot \left\{ I_{ph} - I_o [\exp(\frac{qV}{nkT}) - 1] \right\} \tag{7}$$

최적부하조건에서 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$ 이므로 최적동작전압 V_m 은 식 (8)과 같다.

$$V_m = \exp(\frac{qV_m}{nkT})(1 + \frac{qV_m}{nkT}) = (\frac{I_{ph}}{I_o}) + 1 \tag{8}$$

따라서 최적동작전류 I_m 은 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \tag{9}$$

태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류 I_{sc}, 개방전압 V_{oc}와 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나는 충진율(FF)이며 식 (10)과 같이 정의된다.

$$FF = (V_m \times I_m)/(V_{oc} \times I_{sc}) \tag{10}$$

태양전지의 에너지 변환효율 η는 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 정의하며 다음 식 (11)과 같다.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \tag{11}$$

여기서, P_{in}은 입사된 태양광에너지이다.

따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류 I_{sc}, 개방전압 V_{oc}, 그리고 충진율 FF를 높여야 한다.

2. 태양전지의 전기적 특성

그림 2-3은 일사량 변화에 따른 태양전지의 전류-전압 특성곡선을 나타낸다. 250[W/m^2] ~ 1500[W/m^2]의 일사량변화에 대하여 태양전지의 전류변화는 일사량에 비례하여 변화하며 반면 태양전지 전압은 일사량 변화에 따라 비선형으로 미세하게 변화된다.[8]

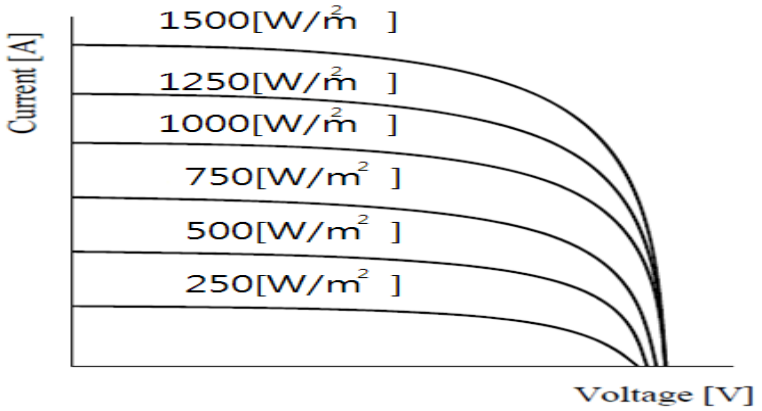


Fig. 2-3 V-I characteristics curves at different insolation

또한 태양전지는 온도에 의존하는 특성을 가지고 있다. 그림 2-4는 온도변화에 따른 태양전지의 전압-전류 특성을 나타내고 있으며, 접합부 온도의 선형적인 증가도 태양전지의 전압이 반비례하여 감소한다. 이러한 태양전지의 특성으로 인해 실제 발전에 있어서 태양전지의 온도를 낮게 유지시켜주어야 한다. 따라서 국내의 경우 사계절 중에 여름보다 봄, 가을에 상대적인 누적 발전량이 높게 나타난다.

이와 같이 온도에 따라 개방전압이 변동하는 까닭은 온도증가로 다이오드 포화전류(I_0)가 지속적으로 증가하기 때문으로써 포화전류는 pn접합의 생성영역 안에서 가속화되고 열여자(Thermal excitation)에 의하여 생성된 소수 캐리어의 전류이다.

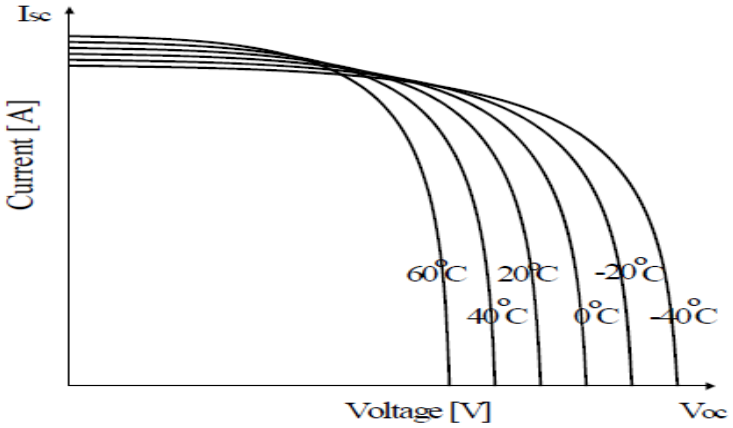


Fig. 2-4 V-I characteristics curve at different temperature

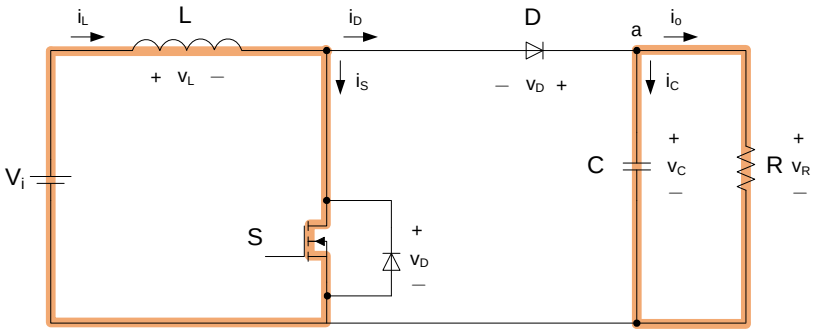
B. MPPT 제어

태양전지 어레이의 최대전압은 일사량과 온도에 의해서 순시적으로 변화된다. 이 때문에 태양전지의 특성이 변화하지 않아도 동작점이 변하게 되어 최대출력을 얻을 수 없다. 따라서 태양전지를 효율적으로 동작시키기 위해서는 태양전지 어레이 출력을 항상 최대전력점에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다. MPPT 제어는 DC-DC 컨버터나 DC-AC 인버터에서 전압 및 전류를 제어함으로서 태양전지 어레이의 MPPT 제어가 가능해 진다.

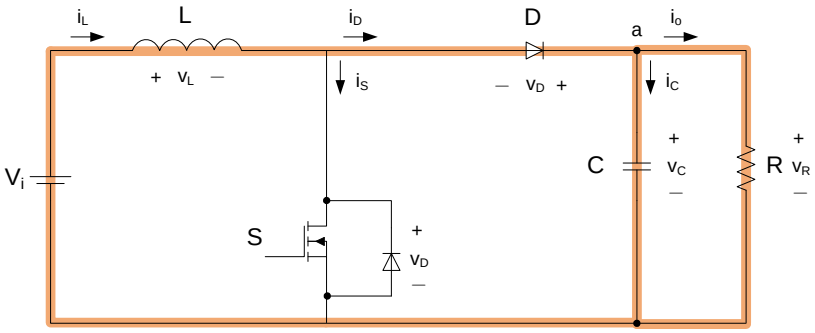
1. DC-DC Boost 컨버터

본 논문에서는 DC-DC Boost 컨버터를 이용하여 태양전지 MPPT 제어를 수행하고자 한다.

Boost 컨버터는 듀티비(D) 의해 출력전압을 제어한다. 그림 2-5는 스위치로 반도체 소자인 전력용 MOSFET S와 다이오드 D를 사용한 Boost 방식의 DC-DC 컨버터에 대한 등가 회로도를 나타낸다. 그림 2-5와 같이 S가 통류율 D로 스위칭될 때 컨버터 각 부의 전류와 전압파형은 그림 2-6과 같다.



(a) S ON($0 \leq t \leq DT$)



(b) S OFF($DT \leq t \leq T$)

Fig. 2-5 The equivalent circuit of boost converter

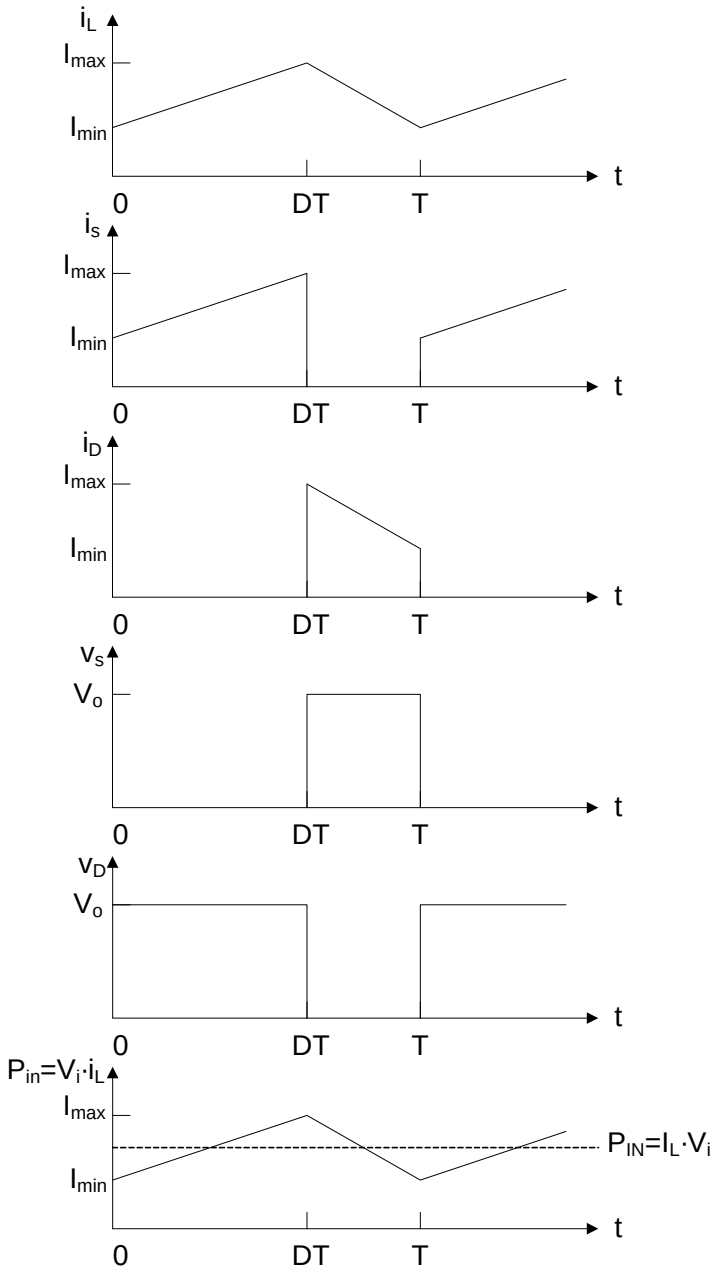


Fig. 2-6 A basic waveforms of boost converter

MOSFET S의 스위칭 주기 T가 일정하고, 이에 대해 S가 통류율 D로 동작하면, S가 온 되는 구간은 DT이며 S가 오프 되는 구간은 나머지 (1-D)이다. S가 온 되면 인덕터 L에는 입력전압 V_i가 걸리며 다이오드 D에는 출력전압 v_o가 걸린다. S가 오프 되면 인덕터 전류 i_L은 다이오드 D를 통해서 출력측에 전달되며 다이오드 D의 전압 v_D는 0이 된다. S의 전압 v_s는 출력전압인 v_o가 된다. 그런데 필터가 이상적인 경우 출력전압의 리플성분(ripple components)은 무시할 수 있으며, 출력전압의 평균값을 V_o라고 하면 인덕터 전압 v_L의 평균값 V_L은 식 (12)와 같다.

$$V_L = V_i \cdot D + (V_i - V_o) \cdot (1 - D) \tag{12}$$

그런데, 정상상태(steady state)에서 인덕터 전압 v_L의 평균은 0이 되어야 한다. 인덕터 전압의 평균이 0이 되지 않으면 인덕터 전류 i_L은 계속 상승하거나 하강한다. 따라서, 인덕터 전압의 한 주기 동안의 평균 V_L은 0이 되며, 식 (12)에서 입력전압이 전달되는 전압전달비 G_V를 구하면 식 (13)과 같다.

$$G_V \equiv \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \tag{13}$$

Boost 컨버터의 전압전달비 G_V는 D가 0일 때 최소인 1이 되며, D가 1일 때 최대인 무한대의 값이 된다.

a) 인덕터 전류

(1) 전류 상승구간 : $0 \le t \le DT$

그림 2-5의 (a)에서 인덕터 전류 i_L과 인덕터 전압 v_L과의 관계는 식 (14)와 같다.

$$v_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{14}$$

그림 2-5의 (a)에서 인덕터 전압 v_L은 입력전압 V_i와 같으므로, 식 (14)에서 인덕터에 흐르는 전류의 기울기는 식 (15)와 같이 구해진다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i}{L} \tag{15}$$

따라서, S가 온 되는 DT 구간 동안 인덕터 전류 i_L은 식 (15)의 기울기로 증가한다. 그러므로 정상상태에서 S가 온 되는 $t=0$에서 인덕터 전류 i_L은 최소인 $I_{\min}$이 되며, S가 오프 되기 직전인 $t=DT$에서 최대인 $I_{\max}$로 증가한다. 따라서 식 (15)에서 식 (16)을 얻을 수 있다.

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_0^t V_i dt + I_{\min} \tag{16}$$

식 (16)에서 인덕터의 최대전류 $I_{\max}$는 식 (17)과 같다.

$$i_L(t=DT)=I_{\max}=\frac{1}{L}\int_0^{DT}V_i dt+I_{\min} \tag{17}$$

여기서, 식 (17)의 적분식을 해석하면 DT 구간 동안 인덕터 전류 i_L은 식 (18)과 같이 상승한다.

$$I_{\max}-I_{\min}=\frac{V_i}{L}\cdot DT \tag{18}$$

(2) 전류 하강구간 : $DT \le t \le T$

S가 오프 되는 $(1-D)T$ 구간 동안 컨버터의 등가회로는 그림 2-5의 (b)와 같으므로 인덕터 전압 v_L은 식 (19)와 같이 구할 수 있다.

$$v_L=V_i-v_o \tag{19}$$

인덕터 전류 i_L과 인덕터 전압 v_L과의 관계는 식 (14)와 동일하므로 식 (14)와 (19)에서 인덕터에 흐르는 전류 v_L의 기울기는 식 (20)과 같다.

$$\frac{di_L}{dt}=\frac{V_i-v_o}{L} \tag{20}$$

정상상태에서 출력전압 v_o는 식 (14)의 조건을 만족하므로 식 (20)의 기울기는 항상 0보다 작다. 따라서 S가 오프 되어 다이오드 D가 온 되는 $t=DT$에서 인덕터 전류는 최대인 $I_{\max}$가 되며, 이 후 식 (20)의 기울기

로 감소하여 $t=T$에서 최소인 $I_{\min}$으로 감소한다. 따라서 식 (20)에서 인덕터 전류 i_L은 식 (21)과 같다.

$$i_L(t)=\frac{1}{L}\int_{DT}^{t}(V_i-v_o)dt+I_{\max} \tag{21}$$

식 (21)에서 인덕터의 최소전류 $I_{\min}$은 식 (22)와 같이 구해진다.

$$i_L(t=T)=I_{\min}=\frac{1}{L}\int_{DT}^{T}(V_i-v_o)dt+I_{\max} \tag{22}$$

여기서, 출력전압 v_o는 리플성분이 필터 커패시커 C에 의해서 대부분 제거되는데, 이 경우 출력전압 v_o는 일정한 직류전압 V_o가 된다. 따라서, 식 (22)의 적분식을 해석하면 인덕터 전류 i_L은 식 (23)과 같다.

$$I_{\min}-I_{\max}=\frac{V_i-V_o}{L}\cdot(1-D)T \tag{23}$$

b) 출력전압

정상상태에서 출력전압의 평균값 V_o는 인덕터 전류의 관계식 (18)과 (23)을 더하면 다음과 같이 출력전압의 평균값 V_o에 대한 관계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_i}{L} \cdot DT + \frac{V_i - V_o}{L} \cdot (1-D)T = 0 \tag{24}$$

식 (24)를 정리하면 출력전압 V_o는 식 (25)와 같다.

$$V_o = \frac{V_i}{1-D} \tag{25}$$

2. MPPT 제어 알고리즘

MPPT 제어기법은 태양전지 어레이에 연결된 부하를 제어하여 임피던스 매칭을 최적화함으로써 최대출력점 동작이 가능하게 하며 그 제어방법은 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 분류된다. 알고리즘 측면에서는 일정 전압제어 알고리즘, P&O 알고리즘, IncCond 알고리즘 등으로 분류할 수 있다. 아날로그 제어방식의 경우 제어회로와 센서를 이용하여 구현이 가능하지만, 제어의 유연성과 다른 종류의 태양전지 어레이에 적용을 쉽게 하기 위하여 DSP 또는 마이크로컨트롤러를 사용하는 것이 유용하다.

MPPT 기술의 핵심은 측정된 어레이 파라미터(I, V, P)를 이용하여 최대전력점을 추적하는 알고리즘이며, 태양전지 어레이의 동작점 변화와 어레이 출력전력의 변화에 일치시키기 위하여 연속적으로 동작시키는 것이다.[9,10]

MPPT 추종 알고리즘은 태양전지의 특성에 종속적이지 않고 자유로워야 하며, 실제적인 최대전력점 추종이 가능하여야 한다. 또한, 주기적인

튜닝이 필요치 않아야 하며 추종 속도가 빨라야 한다.

대표적인 MPPT 제어 방법으로는 일정전압 제어방법, IncCond 방법, P&O 방법 등을 들 수 있는데 P&O법과 IncCond법이 많이 쓰이는 방법이며, 이 방법은 전력-전압의 기울기에 의해 제어하는 방식이다. 많은 실험을 통하여 IncCond법이 P&O법보다 향상된 알고리즘임을 증명하고 있으며 빠른 일사량 변동 시에 유리한 알고리즘으로 알려져 있다.[11,12,13]

a) 일정전압 제어방법

태양전지 어레이 출력전압은 일사량의 변화에 대해서 약간의 변동폭을 가지는 정전압 특성을 나타내고 있으므로, 어떤 일정한 전압을 설정하여 정전압으로 제어하는 방법을 일정전압 제어방법이라 한다. 이 기법은 출력에 대해 전력량이 필요하지 않으며, 부스트 컨버터의 듀티는 제어 회로에 의해 결정되며 이것의 출력측 DC전압은 정상상태 조건의 V_{ref}값에 의해 일정하게 유지된다. 이 일정전압 제어방법은 전류센서를 줄일 수 있으나 일사량 급변시 정확한 최대전력점을 찾아 동작하지 못해 출력효율이 감소하는 단점이 있다.[14]

b) P&O 제어방법

P&O 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지의 전압을 주기적으로 증가 또는 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력 전력과 함께 현재 어레이 출력 전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는다.

만약 전력이 증가하면 교란은 다음 주기 동안 계속해서 같은 방향으로

증가할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT 주기 동안 교란된다는 것을 의미한다. 그러므로 최대전력점에 이르렀을 때 P&O 알고리즘은 일정 혹은 천천히 변하는 환경조건에서 자려진동(Self Oscillation)할 것이며, 그 결과 태양전지 어레이의 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 최대전력점에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안의 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 P&O 알고리즘의 개선에 의해 해결할 수 있다. 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 step(ΔV)의 감소가 있는데 이 방법은 일사량이 낮은 경우 제어특성이 나빠지고, 환경조건이 급하게 변할 경우 최대전력점 추적속도가 늦어지게 되므로 step의 결정이 중요하게 된다.[17,18] 이 방법은 그림 2-7과 같은 순서도에 의해 동작한다.

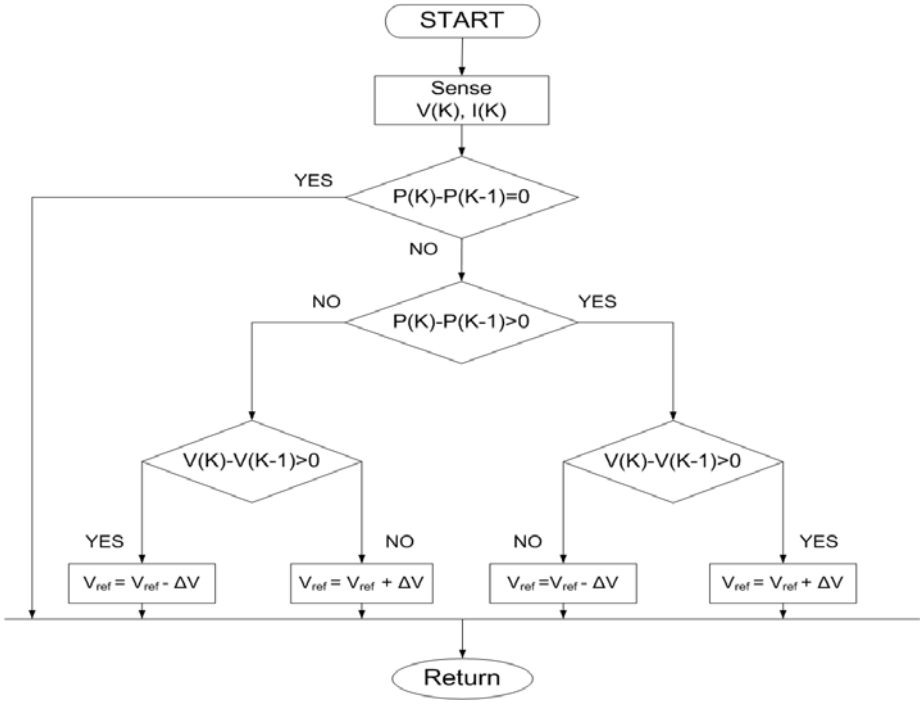


Fig. 2-7 Flow chart of the P&O algorithm

c) IncCond 제어방법

IncCond 알고리즘은 P&O 알고리즘의 단점을 피하기 위한 방법으로 제안되었다. 태양전지 전압 V에 대한 출력전력 P의 미분이 최대전력점에서 '0'이 된다는 것을 기초로 하였다. 태양전지의 P-V특성을 보면 최대전력점을 기준으로 왼쪽의 미분 값은 '0'보다 크고, 오른쪽은 '0'보다 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (26), (27), (28)과 같은 식을 이끌어 낼 수 있다.

$$V = V_{mp} \qquad \frac{dP}{dV} = 0 \tag{26}$$

$$V < V_{mp} \qquad \frac{dP}{dV} > 0 \tag{27}$$

$$V > V_{mp} \qquad \frac{dP}{dV} < 0 \tag{28}$$

식 (26)으로부터 $P = VI$와의 관계를 이용하여 식 (29)를 구한다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I\frac{dI}{dV} + V\frac{dI}{dV} = I + V\frac{dI}{dV} \tag{29}$$

식 (26)과 식 (29)를 조합하여 MPP조건 $V = V_{mp}$를 만족하는 식 (30)을 얻을 수 있다.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{30}$$

이 알고리즘은 DC-DC컨버터의 입력이나 P&O 알고리즘의 기준 전압 V_{ref}를 조정함으로써 이행된다.

필요 증분 dV와 dI의 변화는 식 (31), (32)와 같이 이전 주기에 측정된 V와 I의 값에 대하여 가장 최근 값을 비교함으로써 접근시킨다.

$$dV(k) \approx V(k) - V(k-1) \tag{31}$$

$$dI(k) \approx I(k) - I(k-1) \tag{32}$$

MPP를 찾기 위한 중심함수는 식 (33), (34)와 같은 조건을 적용한다.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{33}$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \tag{34}$$

만약 식 (33)의 조건과 일치한다면 시스템은 MPP에서 동작하므로 동작전압을 바꿀 필요가 없다. 만약 식 (33)이 틀리다면 식 (27)과 식 (28)에 대한 식 (34)는 전압이 V_{mp}보다 크거나 작을 때 동작하는 시스템 조건을 결정하기 위해 사용되며, 항상 MPP동작전압이 조정되어 최대전력을 얻을 수 있게 된다.[15,16]

그림 2-8은 IncCond 제어 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다.

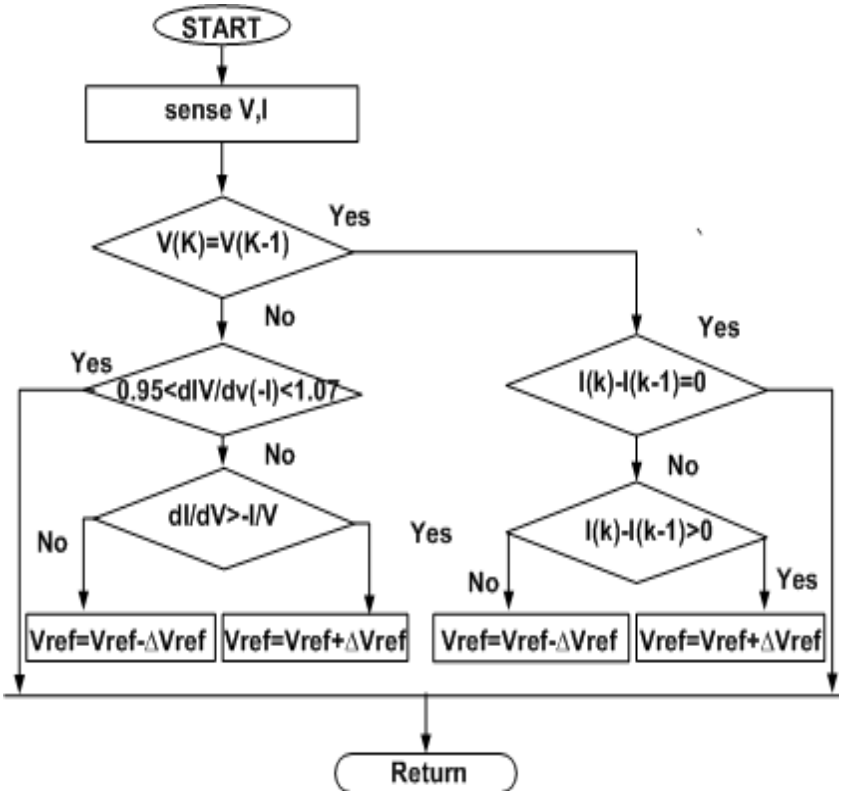


Fig. 2-8 Flow chart of the IncCond algorithm

d) Newton Method 제어 방법

본 논문에서 제안한 Newton Method 방법은 일반적인 함수의 근사 값이나, 실제 값을 찾는데 매우 효율적인 방법이다. 이 방법은 구하고자 하는 근의 값 근처에서는 수렴되는 속도가 매우 빠르므로, 원하고자 하는 값을 찾는 속도가 일반적인 미분 방정식을 이용하여 근을 찾는 것보다 빠르게 찾을 수 있다. 하지만 방정식의 기울기가 작게 되면 해를 구하기 힘들어져 처음 접근 포인트 점을 잘못 잡게 되면 원하는 근의 값을 찾을 수 없다.

Newton Method를 이용하여 근을 구하는 법을 알아보면, 그림 2-9처럼 그래프 $y=f(x)$를 그려 그래프 상에 임의의 x값을 지정, 이 값을 x_0라 한다. 다음 단계로 x_0에서 접선을 그려주어 이 접선과 x축이 만나는 점을 x_1이라고 하며, 접선에 해당하는 식은 식 (35)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y=f'(x)(x_1-x_0)+f(x_0) \tag{35}$$

식 (35)의 y값을 0으로 놓고 x절편 값을 식 (36)과 같이 구하여 준다.

$$x_1=x_0-\frac{f(x_0)}{f'(x)} \tag{36}$$

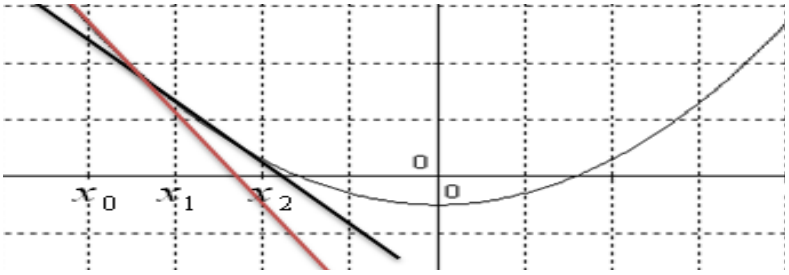


Fig. 2-9 Getting radical values using Newton Method

그래프 $f(x)$ 의 x 값이 x_1 이 되는 점의 접선의 방정식을 구해 준다.

$$y = f'(x)(x_2 - x_1) + f(x_1) \tag{37}$$

그리고 $y=0$ 으로 두고 x 절편을 식 (38)과 같이 구한다.

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x)} \tag{38}$$

이러한 과정을 계속 반복하게 되면 식 (39)와 같은 식이 나오게 된다는 것을 알 수 있다.

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x)} \tag{39}$$

P&O 방식과 IncCond 방식과는 다르다. P&O 방식은 간단한 피드백 구조를 가지고 태양전지 전압을 주기적으로 증가 또는 감소시켜 동작을 하며 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력 전력과 현재 어레이

출력전력을 비교하여 최대 출력 전력점을 찾는 방식이다.

그리고 IncCond 방식은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스를 비교하여 태양전지 출력 제어를 하는 방법이다 P&O 방식과 IncCond 방식은 주기를 비교하여 최대 전력 출력점을 찾아가는 방식이라면 Newton Method 방식은 주기를 바로 구하여 최대 출력 전력점을 찾는 방법이라 할 수 있다. 그림 2-10은 Newton Method를 이용한 MPPT제어의 알고리즘을 나타내고 있다.

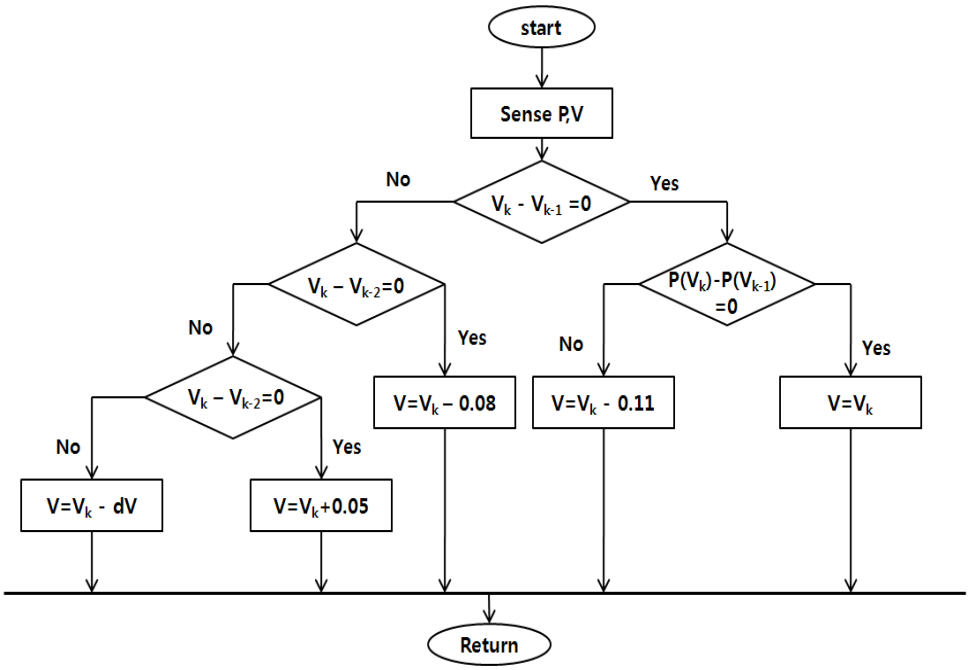


Fig. 2-10 Flow chart of the Newton method algorithm

III. 시뮬레이션 및 고찰

A. 태양전지 출력특성

본 논문에서는 태양전지의 출력특성 및 기존의 P&O 제어 알고리즘과 IncCond 알고리즘, Newton Method 알고리즘 의한 출력특성을 시뮬레이션을 통하여 고찰하였다. 표 1은 시뮬레이션을 수행하기 위한 태양전지 모듈의 파라미터를 나타내고 시뮬레이션 툴은 MATLAB Simulink를 이용하여 특성을 비교 하였다.

Table 3-1. Parameters of photovoltaic module

Parameter	Value	Parameter	Value
Maximum power	215[W]	Temperature	25[℃]
Open circuit voltage	51.6[V]	Max. power voltage	42.0[V]
Short circuit current	5.61[A]	Max. power current	5.13[A]

그림 3-1은 MATLAB Simulink를 이용한 태양전지 모듈의 모델링을 나타내고 있다. 일사량이 1000[W/㎡]을 기준으로 하고 일사량을 200[W/㎡] 간격으로 감소한다는 가정 하에 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3-2는 일사량가변에 따른 태양전지 모듈의 전압-전류특성을 그림 3-3은 전압-전력 특성곡선을 나타내었다. 일사량이 증가함에 따라 전력이 증가함을 확인할 수 있었다.

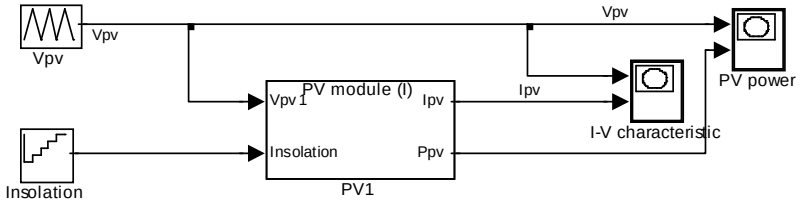


Fig. 3-1 PV control system using simulink

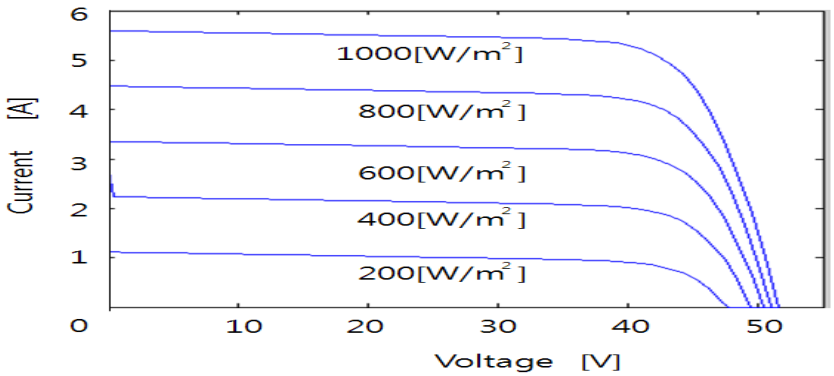


Fig. 3-2 I-V characteristics curve at difference insolation

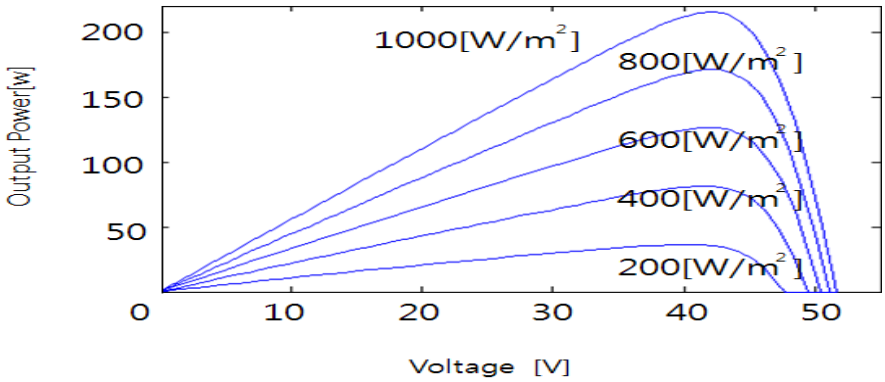


Fig. 3-3 P-V characteristics curve at difference insolation

B. MPPT 제어 특성

MPPT를 수행하는 알고리즘을 검증하기 위해 그림 3-4의 MATLAB simulink 회로도를 이용하였다. 그림 3-5는 태양전지 모듈의 내부 블록도를 나타내고 있다. P&O 제어 알고리즘, IncCond 알고리즘, Newton Method 알고리즘 비교하는 시뮬레이션을 수행하였다.

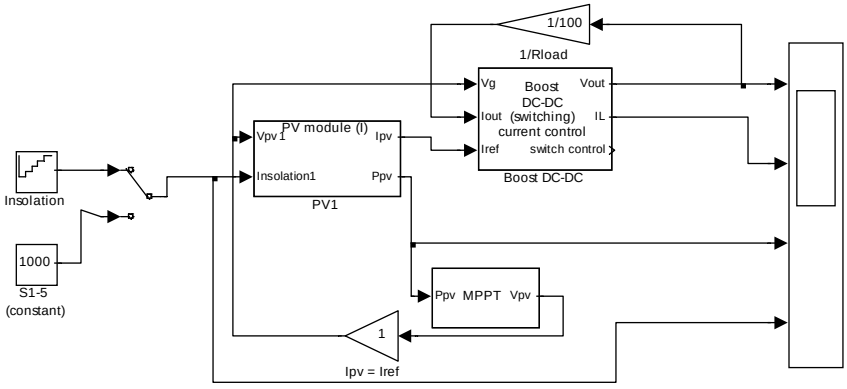


Fig. 3-4 Whole control system using simulink

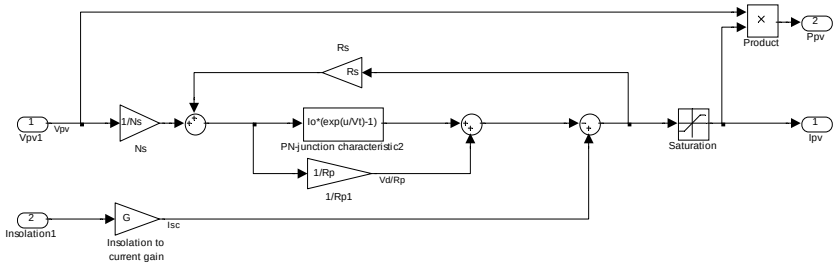


Fig. 3-5 Internal circuit of PV system

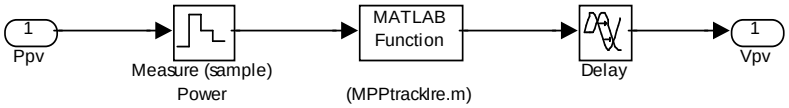


Fig. 3-6 MPPT control circuit using simulink

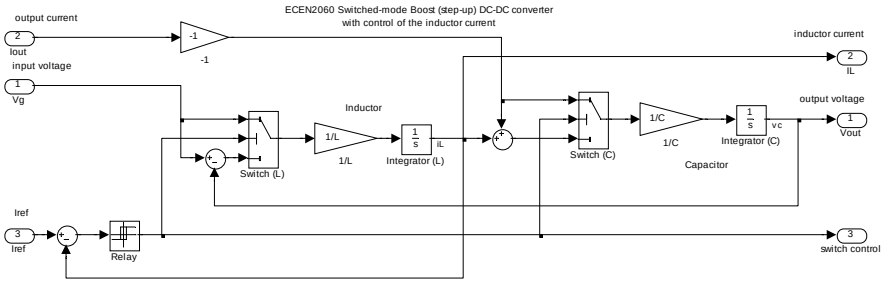


Fig. 3-7 DC-DC Boost converter using simulink

그림 3-7은 DC-DC Boost converter의 내부 블록도이다. Boost를 이용하여 MPPT제어 하였다. 그림 3-8 P&O 제어 알고리즘을 일사량 200[W/m^2]부터 1000[W/m^2]까지 200[W/m^2]씩 증가시켰을 때의 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 일사량이 점차 상승함에 따라 최대전력점 또한 높아지는 것을 알 수 있다. 하지만 자려 진동하여 파형에 떨림이 있음을 알 수 있고, 이것은 곳 손실로 발생할 수 있다는 단점이 있다.

그림 3-9의 일사량이 800[W/m^2]에서 200[W/m^2]의 급변시에도 출력전력이 잘 추적되고 있음을 알 수 있다.

그림 3-10은 IncCond 제어방식으로 일사량 200[W/m^2]부터 1000 [W/m^2]까지 200[W/m^2]씩 증가시켰을 때의 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 일사량이 점차 상승함에 따라 최대전력점 또한 높아지는 것을 알 수

있다. P&O 제어와 비교 했을때 진동이 없고 안정적이다. 단점으로는 여유계수를 조절하지 못하면 그림 3-11과 같이 자려 진동이 발생된다. 그림 3-12는 IncCond의 일사량급변에 따른 출력을 나타낸 것으로 잘 추종됨을 나타내고 있다.

그림 3-13은 Newton Method 제어 방식으로 일사량 200[W/m^2]부터 1000[W/m^2]까지 200[W/m^2]씩 증가시켰을 때의 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 일사량이 점차 상승함에 따라 최대전력점 또한 높아지는 것을 알 수 있다. 그림 3-14는 Newton Method 제어방식의 일사량 급변시의 출력 특성을 나타내고 있다.

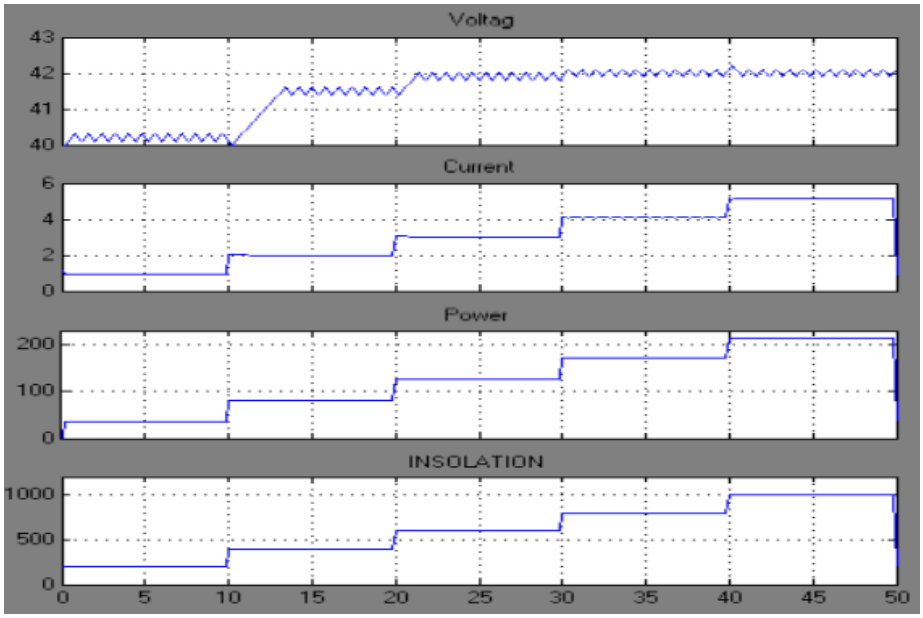


Fig. 3-8 P&O controlled insolation changes in the output characteristic curve of solar cells

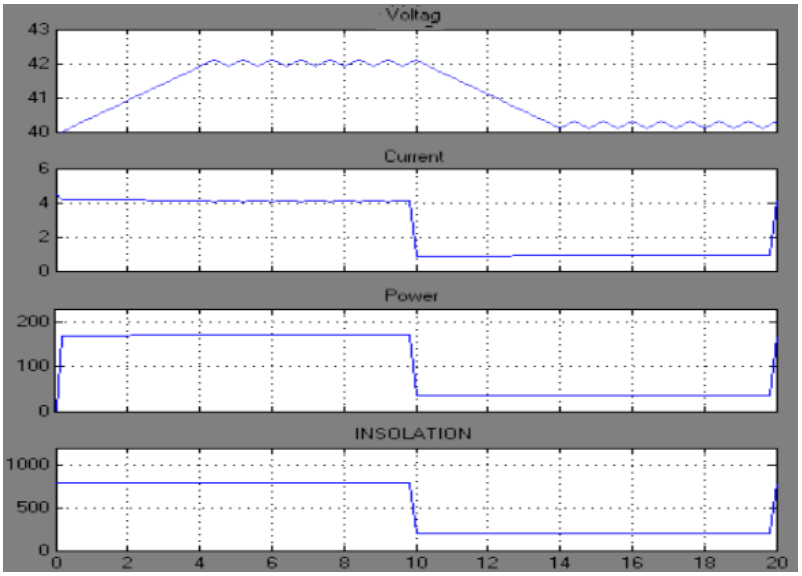


Fig. 3-9 P&O fast changes in solar radiation in solar output attribute control

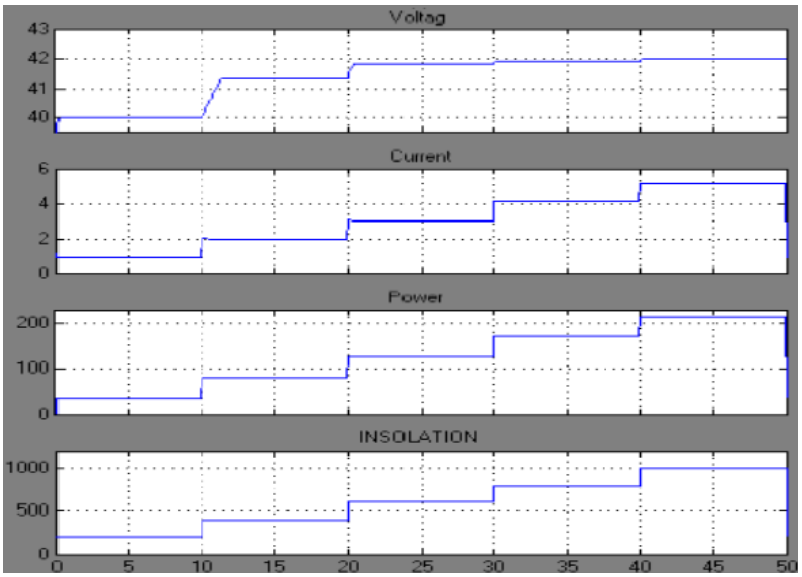


Fig. 3-10 IncCond controlled insolation changes in the output characteristic curve of solar cells

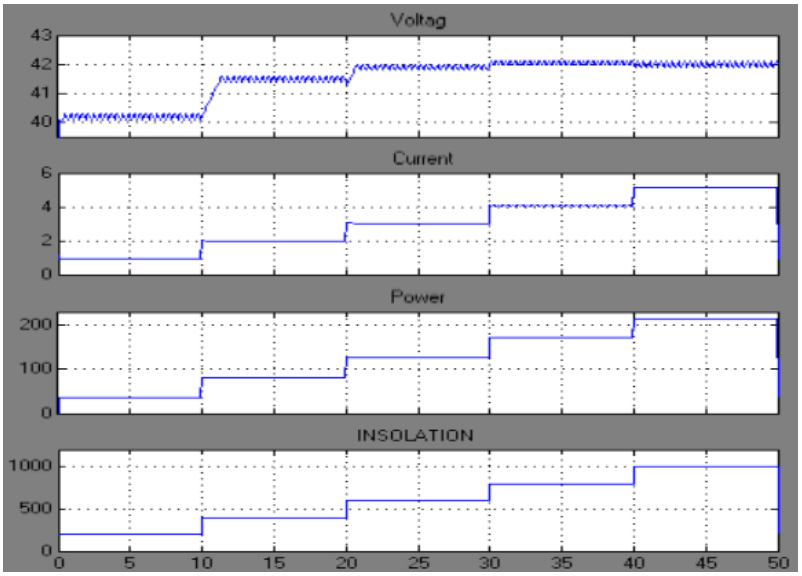


Fig. 3-11 If there is no free factor controlling the IncCond

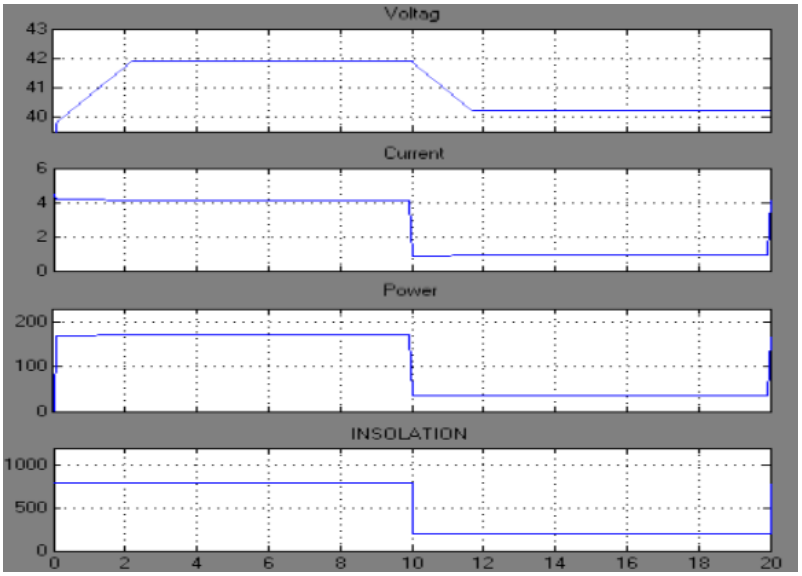


Fig. 3-12 IncCond fast-paced changes in solar radiation in solar output attribute control

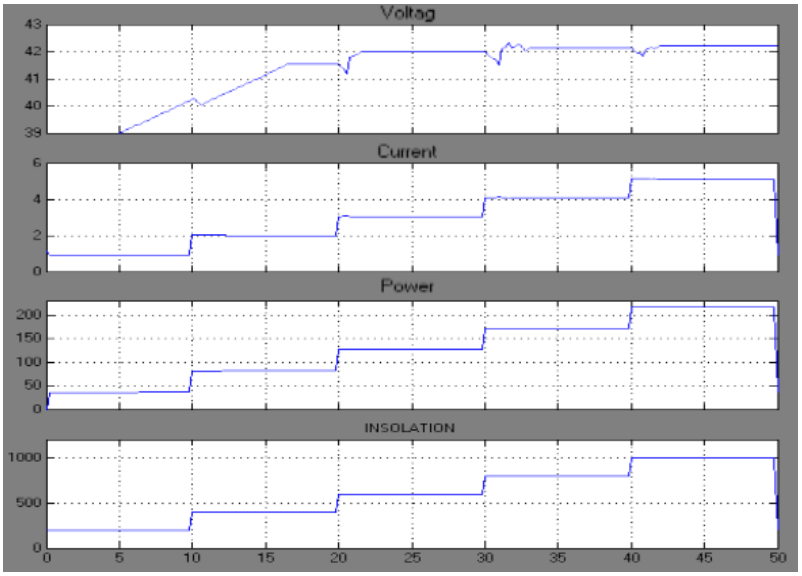


Fig. 3-13 Newton Method controlled insolation changes in the output characteristic curve of solar cells

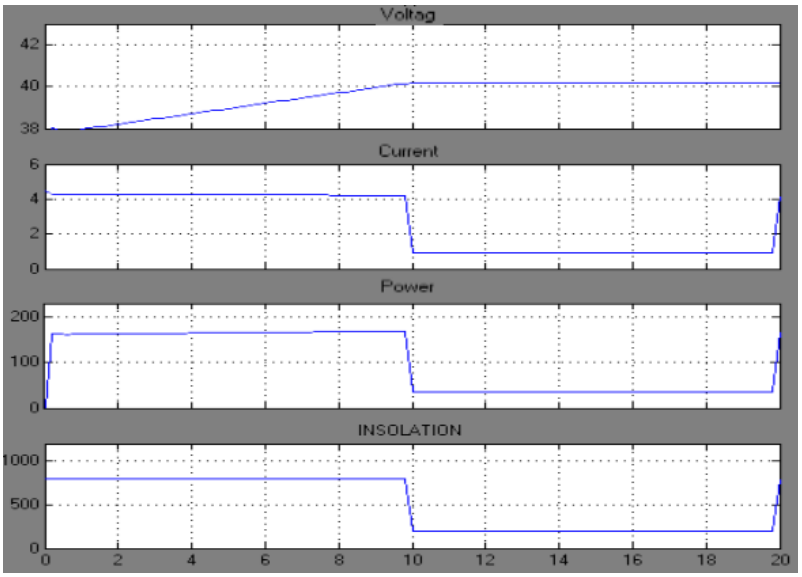


Fig. 3-14 Newton Method fast changes in solar radiation in solar output attribute control

IV. 결 론

화석에너지원의 유한성과 생활수준 향상으로 인한 에너지 수요의 증가 추세에 비추어 볼 때 선진국을 포함한 여러 나라에서는 풍력 태양광, 조력, 파력 등의 자연 에너지와 메탄올, Bio Gas 등을 포함한 환경 친화적인 에너지원의 개발 및 효율적인 이용에 관련된 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 그중에서 가장 각광받고 있는 태양광에너지를 본 논문에서는 연구하였다.

태양전지의 효율을 높이기 위해 태양전지의 최대전력점 추종은 매우 중요한 부분이며 활발히 연구되고 있다. 날씨가 급변하는 상황에서도 빠르게 최대전력점을 추적 제어하는 것 또한 중요하다.

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 위한 최대전력점 추적방식에 대하여 일반적으로 사용되는 일정전압 제어방법과 P&O 제어 알고리즘, IncCond 제어 알고리즘, 제안된 Newton Method 알고리즘 에 대하여 서술하였고, 그 중에서도 P&O 제어, IncCond 제어, 제안된 Newton Method 제어를 MATLAB Smulink를 통하여 비교 분석하였다.

P&O 제어는 전압과 전력의 비교로 추적해가는 방식으로 쉽게 추적했지만 자려진동을 해서 손실이 발생함을 알 수 있었다. IncCond 제어는 전압에 대한 출력 전력의 미분이 최대전력점에서 '0'이 된다는 것을 기초하여 추적해 P&O 제어 보다는 정확하게 추적했지만 여유계수 설정을 해주어야만 하는 것을 알 수 있었다.

제안된 Newton Method 제어는 전압에 대한 출력 전력을 두 번 미분한 형태로 세밀한 추종이 가능함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Chea Y. J "Control of DC/DC Converters for solar Energy System with Maximum Power Tracking"(1999)

[2] Charles. R. Sullivan, Matthew J Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic array in a solar-powered race vehicle", Proceedings of the IEEE, 1993, pp. 574-580

[3] Hussein K H, Muta I, "Modified Algorithms for Photovoltaic Maximum Power Tracking", Record of 1992 Joint Conference of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, Japan, pp. 301, 1992, October

[4] K.H Hussion, "Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE, Col. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995.

[5] Kim D. S "The MPPT Control of Solar Cell Using Improved Algorithm" vol 1 (2009)

[6] Nagayoshi H., Orio S., Kono Y., Nakajima H.,"Novel PV array/module I-V curve simulator circuit", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, vol. 1 (2002), pp. 1535-1538.

[7] B. P. Edwards, "Computer based sun following system", Solar Energy, Vol. 21 (1998), pp. 491-496.

[8] Nagayoshi H., Orio S., Kono Y., Nakajima H.,“Novel PV array/module I-V curve simulator circuit”, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, vol. 1 (2002), pp. 1535-1538.

[9] T. Esram and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, 2007.

[10] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE. PP. 507-512, 1982.

[11] Andoubi, R., Mami, A., Dauphin-Tanguy, G., Annabi, M. "Bond Graph Modelling and Dynamic Study of a Photovoltaic System Using MPPT Buck-Boost Converter", IEEE ICS, Vol. 3, PP. 200-205, 2002.

[12] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Interconnected with Utility", Proceedings of the American Power Conference, PP. 276 ~ 281, 1997.

[13] Masato Hoshino, Gunji Kimula, Mitsuo Shioya, "DC-DC Converter and Inverter for Photovoltaic Modules", IECON. PP. 569-574, 1988.

[14] Ruther, R., de Silva, A.J.G., Montenegro, A.A., Salamon, I.T., Araujo, R.G., "The Petrobras 45.5kwp, grid-connected PV System: a Comparative Study of Six Thin-film Module Types Operating in Brazil ", Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference 2002, PP. 1440-1443, 2002.

[15] Kotsopoulos, A., Duarte, J.L., Hendrix, M.A.M., Heskes, P.J.M., "Islanding Behaviour of Grid-connected PV Inverters Operating under Different Control Schemes ", Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference - Volume 3 , PP. 1506-1511 , 2002.

[16] Gwonjong Yu, Jinsoo Song, "Development of Power Converter for Photovoltaic System", Japan-Korea Joint Seminar on TECHNICAL DIGEST PHOTOVOLTAICS, PP. 247~254, 1995.

[17] Gwonjon Yu, "Application of Instantaneous Sinusoidal Current Tracking Control Inverter to Photovoltaic System", Int'l PVSEC-5, 8-Ⅲ-3, PP. 661, Nov. 1990.

[18] 유권종외, "PWM Chopper에 의한 태양전지 출력제어", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, PP. 401~408, 1990. 7.

감사의 글

본 논문이 나올 수 있도록 은혜 베풀어 주신 하나님께 모든 영광을 올려드립니다. 어려운 가운데서도 믿음으로 나아갈 수 있도록 나의 믿음을 지켜주신 주님께 감사드립니다.

그리고 아낌없는 지도로 이끌어주신 지도교수님이신 조금배 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 조선대학교 전기공학과 전력전자연구실에 석사과정 신승호님, 백승학님, 장인혁님, 임지혜님에게 감사의 말씀을 드립니다.

대학원생활을 하면서 힘들고 어려웠던 시간을 함께 보냈던 최유정 선생님,최옥희 선생님, 박정현 선생님, 탁덕기 선생님, 김준엽 선생님, 송민철 선생님, 최우석 선생님, 강주영 선생님, 한승수 선생님, 김철희 선생님, 임수현 선생님, 이창화 선생님, 한선화 선생님, 김기열 선생님, 김혜영 선생님, 그리고 대학원 생활에 물심양면으로 도움을 주신 어머니와 매형들과 누님들께도 감사의 마음을 전합니다.

학업에 충실 할 수 있도록 도움을 주시고 배려해 주신 이화열 교장선생님, 김혜숙 교감선생님, 문규성 교감선생님, 조길성 교감선생님, 안재홍목사님, 전기과 박동화 부장님, 한정근 부장님, 김채중 부장님, 김충곤 부장님, 이승우 부장님, 김병수 부장님, 신사현 부장님, 신용길 부장님께 감사의 말씀 드립니다.

대학원을 무사히 잘 마칠 수 있도록 기도와 격려를 해주신 기도팀 양정목사님, 유미혜사모님, 방명진전도사님, 박정애권사님, 박경재집사님. 정호영집사님, 김성주집사님, 곽인순집사님, 장문석집사님, 김정덕집사님, 정현정집사님, 오은경집사님, 김은미 청년회장, 남편 뒷바라지에 정성을 다해준 아내 최영순, 나라와 민족가운데 주님으로부터 크게 쓰임 받을 아들 예담, 예쁜이 예원에게도 고마운 마음을 전합니다.

2010년 8월

이 헌 중 드림

저작물 이용 허락서

학 과	기술가정교육	학 번	20078237	과 정	석사
성 명	한글:이헌중 한문 : 영문 : Lee Heon Jung				
주 소					
연락처	E-MAIL : hj7328@nate.com				
논문제목	한글 : Matlab-Simulink를 이용한 태양전지의 MPPT 제어특성에 관한 연구 영어 : A Study on the MPPT Control Characteristics of Solar Cell using Matlab-Simulink				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ) 반대( )

2010 년 7 월 일

저작자: 이 헌 중 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하