

Negative 벡 컨버터를 활용한 MPPT 알고리즘이 적용된 전동기 최대 토크 제어 시스템

오승택¹, 다이지아리양¹, 안정호¹, 박광우², 진창성^{3*}
¹한양대학교 전기공학과, ²(주)더블유피, ³원광대학교 전기공학과

Motor Maximum Torque Control System with MPPT Algorithm using Negative Buck Converter

Seung-Taek Oh¹, Jialiang Dai¹, Jung-Ho Ahn¹, Kwang-Woo Park², Chang-Sung Jin^{3*}

¹Division of Electrical Engineering, Hanyang University,

²WP Co.

³Division of Electrical Engineering, Wonkwang University

요약 세계적으로 저탄소 정책이 확산되면서 신재생 에너지의 관심이 증가하고 있다. 이로 인하여 다양한 신재생 에너지 가운데 설치 및 유지보수가 상대적으로 용이한 태양광 발전이 각광을 받고 있다. 태양광 발전 시스템 시장은 매년 큰 성장을 하고 있으며, 더 높은 효율을 내기 위해 다양한 전력변환 장치와 알고리즘이 연구되고 있다. 이로 인하여 태양광 발전을 이용한 전동기 구동시스템이 연구되고 있다. 하지만 태양광 발전은 낮은 전력 밀도와 일사량에 따른 전력변화가 크기 때문에 상용화에 어려움이 있다. 또한 스위칭을 통해 발생하는 구동 손실은 시스템의 효율을 저감시키는 원인 중 하나가 된다. 따라서 본 논문에서는 낮은 전력밀도 및 구동 손실의 개선을 위해 기존 벡 컨버터에서 스위치와 인덕터의 위치를 변경하여 Bootstrap 구동 회로가 필요 없는 Negative 벡 컨버터를 사용하고, 음영에 따른 일사량 변화를 고려한 MPPT 알고리즘을 통해 전동기의 최대 토크 제어 시스템을 제안한다. 또한 Matlab/Simulink를 활용하여 시뮬레이션을 구축하고 이를 바탕으로 본 논문의 타당성을 검증했다.

Abstract As low-carbon policies spread around the world, interest in renewable energy is increasing. Solar power generation is relatively easy to install and maintain among various renewable energy sources, so it is in the spotlight. The solar power system market is growing significantly every year, and various power converters and algorithms are being studied for higher efficiency. As a result, an electric motor drive system that uses solar power is being studied. However, solar power generation is difficult to commercialize because of its low power density and large changes in power depending on the amount of insolation. In addition, the driving loss generated through switching is one of the causes of reduced efficiency of the system. Therefore, in this paper, the low power density and driving loss were improved by using a negative buck converter that does not require a bootstrap driving circuit for changing the position of the switch and inductor in an existing buck converter. Furthermore, a maximum torque control system for the motor was implemented through the MPPT algorithm while considering the shade. Matlab/Simulink was used to construct a simulation and verify the method.

Keywords : DC Motor, MPPT Control, Negative Buck, Photovoltaic, Torque Control

본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 "지역특화산업육성(R&D, S2911967)"사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.
이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2019R1F1A1060843).

*Corresponding Author : Chang-Sung Jin(Wonkwang Univ.)

email: csjin76@wku.ac.kr

Received June 10, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised July 8, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

현재 전 세계적으로 환경 및 기후변화에 대한 국가적 차원의 관심이 증가하면서 기존의 발전방식인 화력, 원자력 등의 발전을 줄이고 태양광, 수력, 풍력등의 신재생 에너지에 대한 생산량을 높이고 있는 추세이다. 그 중 태양광 발전은 설치가 쉽고 소음 진동이 적으며 수명이 길고 유지비용이 적게 든다는 장점으로 인해 많은 관심을 받고 있다. 하지만 에너지 밀도가 낮고 한 번에 많은 태양 전지를 사용해야한다는 부분으로 인해 초기 설치비용이 많이 소요된다. 따라서 이를 해결하기 위해 고효율 태양광 모듈의 개발 및 전력 변환 장치의 고성능 기술개발에 대한 다양한 연구가 진행됐다[1,2]. 초기엔 태양광 패널의 소재 및 구성방식에 대한 연구가 이루어지면서 태양광 발전 효율이 크게 상승하였다. 하지만 소재의 한계로 인하여 전력변환 장치의 고성능화 연구가 진행되었고 다양한 고성능 장치 및 알고리즘이 개발되어 태양광 발전 시스템의 발전 단가 및 크기를 줄일 수 있었다. 이를 위해 태양광 발전시스템 및 태양광 발전용 모듈 구성에 대한 연구도 진행되었다. 먼저 Fig. 1과 같이 태양광 발전 시스템으로 독립형, 계통연계형, 하이브리드형이 있다 [3,4]. Fig. 1(a)는 독립형 시스템의 대략적인 구성이다. 독립형 시스템은 태양광 발전으로만 모든 전기를 사용하는 시스템이다. 가장 간단하지만 기후의 영향을 크게 받는다는 단점이 있다. Fig. 1(b)는 계통연계형 시스템을 나타낸다. 해당 시스템은 태양광 발전량이 부족할 경우 기존 전력회사를 통해 전력을 공급받는 형식이다. Fig. 1(c)는 하이브리드형 시스템으로 독립형과 비슷하지만 추가적으로 발전기를 설치하여 전력의 도움을 받는 시스템이다. 태양광 모듈에 대한 연구로는 Fig. 2와 같이 중앙집중형, 스트링 인버터, 마이크로 컨버터 방식이 개발되었다[5]. 각 구성의 발전으로 인하여 유지보수 및 시스템의 복잡성은 증가하였지만 기존보다 더 높은 효율을 가능하게 해주었다. 이러한 기술적 발전을 통해 기존 계통으로의 전력 공급만을 담당하던 방식에서 벗어나 다양한 분야에서의 활용을 위해 여러 전기적 부하 및 DC 전압을 사용하여 구동하는 직류전동기 등을 위한 에너지 공급원으로서의 연구가 진행되고 있다. 하지만 태양광 발전은 컨버터의 전기적 불균형 및 태양광 패널의 음영 및 급격한 일사량의 변화 등을 통해 직류전동기 구동 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. 이를 예방하기 위해 배터리 등의 ESS(Energy Storage System) 장치 등을 추가할 수 있지만 이는 시스템 구성이 복잡해지고 단가를 상승시키는

요인이 된다.

따라서 본 논문에서는 태양광 발전시스템을 이용하여 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어를 통해 일사량이 변화하는 환경에서 직류전동기의 최대 토크 제어 시스템을 제안한다. 우선 태양광 시스템의 부분별 모델링을 진행하고 최대 전력을 내기위한 MPPT 알고리즘을 도출한다. 또한 DC-DC 컨버터로는 Bootstrap 회로의 생략으로 구동회로를 간소화 할 수 있는 Negative 벡 컨버터로 구성하였다. 다음으로 부하로 사용되는 직류 전동기 및 제어 알고리즘에 대한 모델링을 진행하고 Matlab/Simulink를 통하여 시스템의 타당성을 검증하였다.

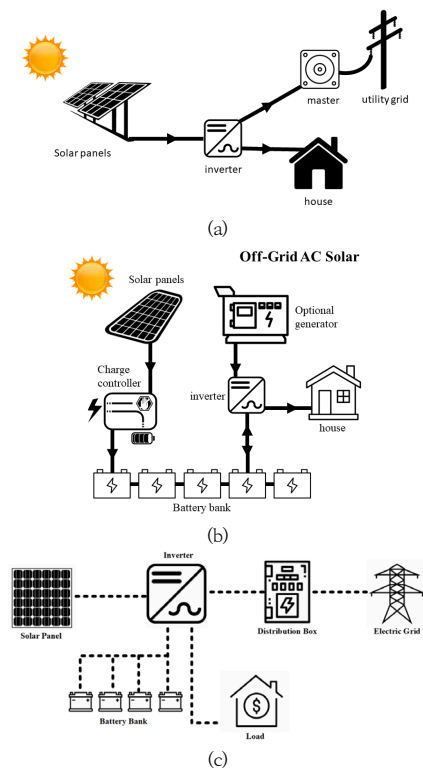
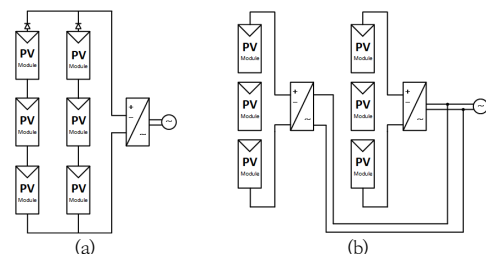


Fig. 1. Solar Power System
(a) Independent (b) Grid connected (c) Hybrid



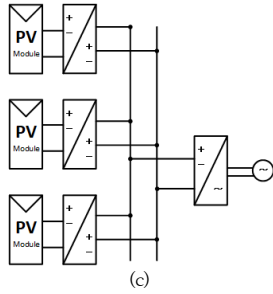


Fig. 2. Solar Module Configuration
(a) Center Inverter (b) String Inverter (c) Micro Converter

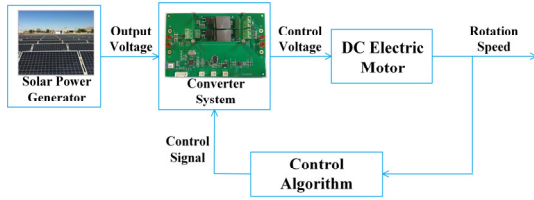


Fig. 3. Solar Power Motor System

2. 본론

2.1 시스템 모델링

태양광 발전을 활용한 직류전동기 시스템을 구성하는 요소로서 Fig. 3과 같이 크게 PV(photovoltaics)모듈, 전력변환 모듈, 전동기 모듈로 나누어져있다. MPPT 알고리즘과 토크제어 알고리즘의 경우 각각 전력변환모듈과 전동기 모듈에 포함되어 구성된다.

2.1.1 PV 어레이 모델링

태양광 발전을 위한 PV 모듈은 Fig. 4와 같이 최소단위인 셀(cell)이 있다. 태양광 발전에서 셀은 태양 전지 하나를 의미한다. 이러한 셀을 직병렬로 구성한 것을 모듈(Module)이라고 하며, 모듈의 직병렬 구조를 어레이(Array)라고 한다. 따라서 최소단위인 셀을 모델링한다면 모듈과 어레이도 간단하게 모델링을 할 수 있다[6]. Fig. 5는 태양전지의 등가회로를 나타낸다. 이상적인 경우 정전류원과 다이오드만으로 구성되지만 정확한 모델링을 위해 다이오드의 기생 저항 및 직렬 저항을 추가하였다. 이때 태양 전지에 흐르는 전류 I 를 구하면 Eq. (1)과 같다.

$$I = I_l - I_D \quad (1)$$

I_D 는 다이오드로 흐르는 전류이며, I_l 은 태양 전지에서 흐르는 광전류를 의미한다. 광전류는 온도와 일사량

에 의해 달라지기 때문에 I_l 을 Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$I_l = \left(\frac{G}{G_0} \right) I_{g0} + J_0 (T_c - T_{ref}) \quad (2)$$

G_0 와 G 는 기준 일사량과 실제 일사량을 의미하고, T_{ref} 와 T_c 는 태양 전지의 기준온도 및 태양 전지의 실제 표면 온도를 나타내며, I_{g0} , J_0 는 기준 일사량일 때의 전류와 온도계수를 나타낸다.

다이오드 전류 I_D 는 소수캐리어의 농도 차이로 인하여 발생한다. 따라서 식을 정리하면 Eq. (3)과 같다.

$$I_d = I_0 \left[e^{\left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT_c} \right)} - 1 \right] \quad (3)$$

$V + IR_s$ 은 다이오드 양단전압, q 는 전자의 전하량, n , k 는 이상계수와 볼츠만 상수, I_0 는 역포화 전류를 나타낸다. 역포화 전류는 온도에 의한 함수로 표현할 수 있으며 Eq. (4)와 같다.

$$I_0 = I_{d0} \left(\frac{T_c}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{nk} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (4)$$

I_{d0} 는 기준온도 시 역포화 전류, E_g 는 band gap을 나타낸다.

따라서 위의 식을 바탕으로 같은 온도 및 일사량 일 때 P-V, I-V 곡선을 그리면 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다.

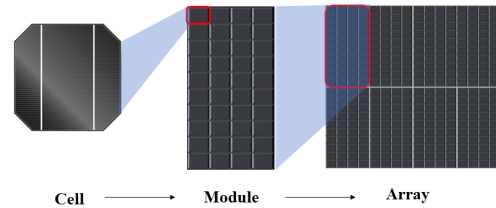


Fig. 4. Solar Array Configuration

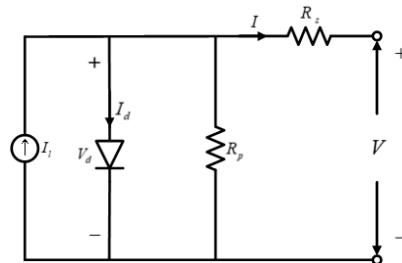


Fig. 5. Solar Cell Equivalent Circuit Model

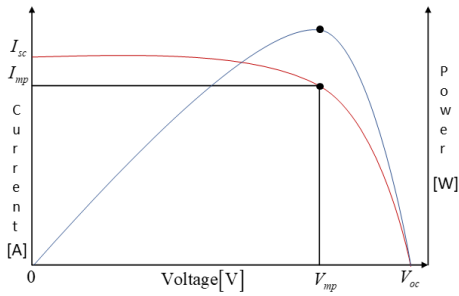


Fig. 6. $I-V$ and $P-V$ Characteristics of a Solar Cell

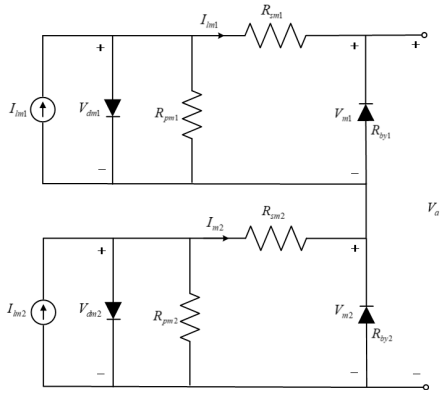


Fig. 7. Equivalent Circuit of PV array

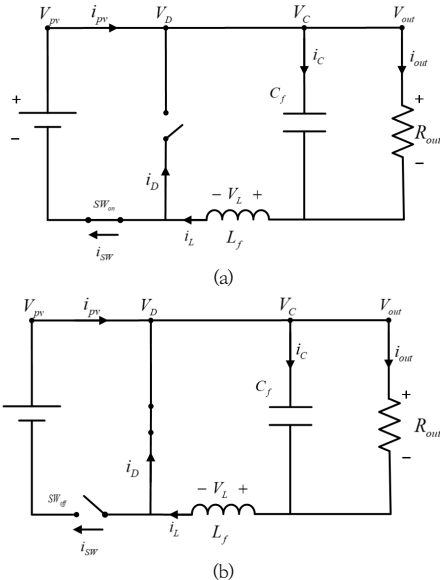


Fig. 8. N-Buck converter Equivalent circuit
(a) ON State (b) OFF State

Fig. 7은 앞서 모델링한 태양전지를 직병렬 구조로 통합한 어레이 구조의 등가 회로를 나타내고 있다. 관련 계산 식 또한 직병렬 구조의 개수에 따라서 m개만큼 곱하

여 표현할 수 있다. 여기서 추가되는 부분은 모듈간 역전압 방지를 위한 다이오드가 추가되어 있다.

2.1.2 Negative 벡 컨버터 모델링

Negative 벡 컨버터는 기존 벡 컨버터와는 다르게 스위치와 인덕터를 접지선으로 위치시킨 형태의 컨버터이다. 구동방식 및 결과는 기존 벡 컨버터와 유사하지만 Bootstrap 회로를 사용하지 않아 구동손실 감소 및 컨버터의 신뢰성을 높일 수 있다는 장점이 있다. 출력 전압의 크기는 PWM(Pulse Width Modulation)에 의하여 제어된다. Eq. (5), (6)은 Negative 벡 컨버터의 전압과 전류 방정식이다.

$$V_{out} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} V_{in} \quad (5)$$

$$I_{out} = \frac{V_{out} - V_m}{R} \quad (6)$$

V_{out} , I_{out} 은 출력 전압 및 전류를 나타내며 t_{on} , t_{off} 는 PWM에 의해 스위치가 켜지고 꺼지는 시간을 의미한다.

Fig. 8은 Negative 벡 컨버터의 스위치가 ON, OFF일 때의 등가회로를 나타낸다.

Negative 벡 컨버터의 모델링을 위한 미분방정식을 구하면 ON일 때와 OFF일 때로 나뉘며 Eq. (7)~(12)와 같다.

ON State 일 때:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} V_{pv} - \frac{1}{L} v_c \quad (7)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C} i_L - \frac{1}{CR} v_c \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{pv} \quad (9)$$

OFF 일 때:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L} v_c \quad (10)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C} i_L - \frac{1}{CR} v_c \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{pv} \quad (12)$$

이를 바탕으로 상태공간기법을 활용한 상태방정식과 출력방정식 y 로 표현하면 Eq. (13), (14)와 같이 나타낼 수 있다. D 는 듀티비를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} V_{pv} \\ 0 \end{bmatrix} D^2 \quad (13)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} D \quad (14)$$

2.1.3 DC 전동기 모델링

DC 전동기의 구동시스템은 전기자 회로, 유기 기전력, 토크, 기계적 부하를 나타내는 4개의 식을 표현할 수 있다. Eq. (15)~(18)은 각 시스템의 식을 표현하고 있다.

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (15)$$

$$e_a = k_e \cdot \Phi_f \cdot \omega_m = K_e \cdot \omega_m \quad (16)$$

$$T_e = k_T \cdot \Phi_f \cdot i_a = K_T \cdot i_a \quad (17)$$

$$T_M = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L \quad (18)$$

여기서 i_a 는 전기자 권선 전류, R_a 는 전기자 권선 저항, L_a 는 전기자 권선 인덕턴스, e_a 는 전기자 권선의 유기 기전력을 나타내며, k_e , k_T 는 역기전력, 토크 상수, Φ_f 는 계자자속, ω_m 은 각속도, J , B 는 관성모멘트와 마찰 계수를 나타낸다. 해당 식도 모델링을 위하여 미분방정식의 형태로 바꿔주면 Eq. (19), (20)과 같게 된다.

$$\frac{d}{dt} i_a(t) = -\frac{R_a}{L_a} i_a(t) - \frac{K_e}{L_a} \omega_m(t) + \frac{1}{L_a} e_a(t) \quad (19)$$

$$\frac{d}{dt} \omega_m(t) = \frac{K_T}{J} i_a(t) - \frac{B}{J} \omega_m(t) - \frac{1}{J} T_L(t) \quad (20)$$

이를 바탕으로 직류전동기의 토크 제어 블록도를 나타내면 Fig. 9와 같게 된다.

2.1.4 MPPT 알고리즘 모델링

MPPT 알고리즘의 경우 P&O (Perturb & Observe) 알고리즘과 IC (Incremental Conductance) 알고리즘이 있다. 본 논문에서는 P&O 알고리즘을 이용하여 MPPT 알고리즘을 구성했다.

P&O 알고리즘은 Fig. 6과 같은 PV 곡선을 활용한다. Fig. 6을 보면 최대 전력인 구간의 기울기는 0이 된다.

P&O 알고리즘은 전력의 최대점이 되는 부분을 추적하는 알고리즘이다. 매번 기울기의 변동부분을 계산하여 적용하기 때문에 응답속도는 느리지만 정상상태에 도달하면 안정적인 출력을 낼 수 있다는 장점이 있다. 해당 알고리즘을 적용하기 위한 조건은 Eq. (21)~(23)과 같다.

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0 \quad (21)$$

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0 \quad (22)$$

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \quad (23)$$

Eq. (21)의 경우 곡선의 기울기가 양수인 경우이며 이때 최대 전력 포인트(MPP)를 기준으로 왼쪽 영역에 값이 존재하게 된다. Eq. (22)의 경우는 기울기가 음수인 경우이며 이때는 MPP를 기준으로 그래프의 오른쪽에 존재하게 된다. 따라서 Eq. (23)과 같은 경우 기울기가 0인 부분이고 이때가 MPP임으로 해당 지점을 추종하게끔 알고리즘이 설계된다. Fig. 10은 P&O 방식의 MPPT 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

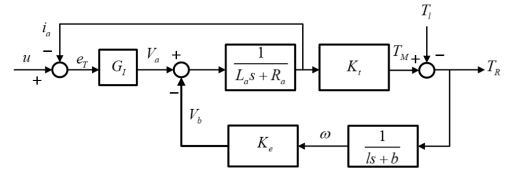


Fig. 9. Torque Control of DC Motor

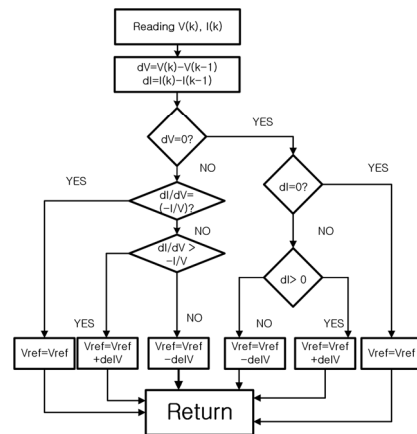


Fig. 10. P&O Algorithm Flowchart

3. 시뮬레이션

제안된 직류전동기 구동을 위한 태양광 발전 시스템은 인위적으로 일사량을 급격하게 조정하여 PV 모듈의 MPPT 출력과 직류전동기의 속도, 토크 특성을 확인했다. PV 모듈과 직류전동기의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Simulation Parameters

Parameters		value	unit
PV Module	Rate Voltage, Current	48.5/15.6	V, A
	Switching frequency	48	kHz
DC Motor	Rate Voltage, Current	240/16.2	V, A
	Switching frequency	5	kHz
	Power	3.73	kW
	Speed	1,220	RPM
	Armature Resistance	0.6	ohm
	Armature Inductance	12	mH

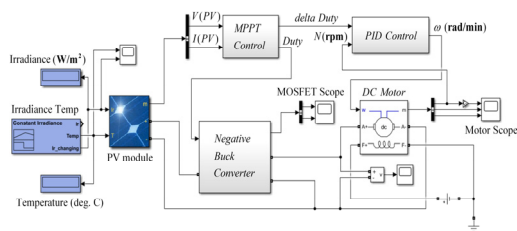


Fig. 11. Solar System Simulation

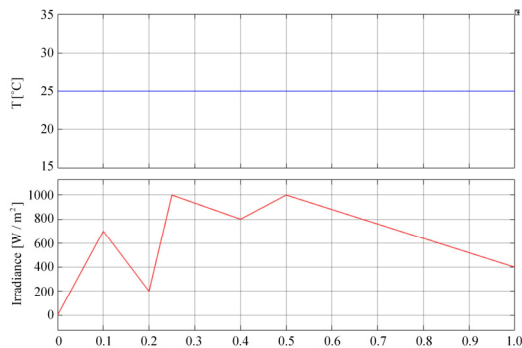


Fig. 12. PV Array Input(Temperature, Irradiance)

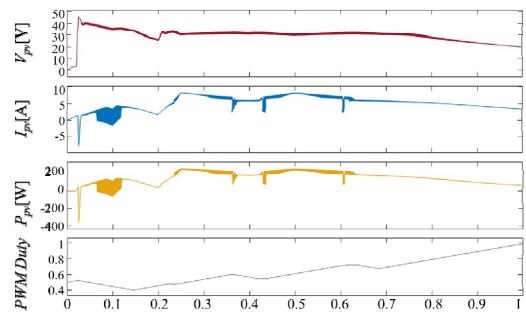


Fig. 13. PV Array and MPPT Output (V_{pv} , I_{pv} , P_{pv} , PWM Duty)

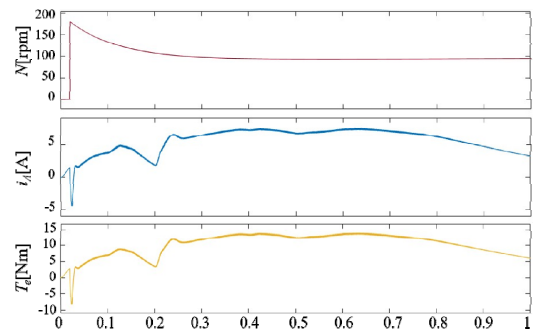


Fig. 14. DC Motor Output(RPM, Current, Torque)

Fig. 11은 전체 시뮬레이션 블록도를 나타낸다. PV모듈과 전력전자 모듈, 모터 모듈 그리고 각 모듈을 제어하기 위한 제어기로 구성되어 있다. Fig. 12는 PV 모듈의 온도 및 일사량 지령 그래프이다. MPPT 제어 및 최대 토크제어를 확인하기 위해서 인위적으로 일사량을 조절했다. Fig. 13, 14는 PV 모듈의 출력과 직류 전동기의 출력을 보여주고 있다. 일사량에 따라서 최대 전력을 추종하기 위해 PWM 듀티비를 조절하고 있는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에선 일사량이 변화하는 환경에서의 MPPT 알고리즘이 적용된 태양광 발전 시스템을 활용하여 직류전동기의 최대 토크 제어를 진행하였다. 이를 검증하기 위해 Matlab/Simulink를 통해 시뮬레이션을 진행했다. 시뮬레이션 결과 일사량의 변화를 바탕으로 최대 토크 제어를 위해 PWM의 듀티비를 최적의 값으로 찾아감을 확인할 수 있었다. 따라서 일사량이 변함에도 출력 및 토크

크는 최대값을 추종하며 가고 있다. 이를 통하여 본 논문의 직류전동기 구동용 태양광 발전 시스템의 타당성을 검증하였다.

References

- [1] Roy Bell, and Robert C. N. Pilawa-Podgurski "Decoupled and Distributed Maximum Power Point Tracking of Series-Connected Photovoltaic Submodules Using Differential Power Processing," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 3, no. 4, December 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2015.2475607>
- [2] Carlos Olalla, Christopher Deline, Daniel Clement, Yoash Levron, Miguel Rodriguez, and Dragan Maksimovic, "Performance of Power-Limited Differential Power Processing Architectures in Mismatched PV Systems," IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 30, no. 2, February 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2312980>
- [3] C. J. Winter, R. L. Sizmann, L. L. Van-Hull, "Solar Power Plants", Springer-Verlag, 1991
- [4] S. D. Kim, "Incorporating the Power Generation Capacities of New and Renewable Energy into Long-Term Electricity Supply Planning", 2005.
- [5] G. Walker, P. Sernia, "Cascaded DC-DC Converter Connection of Photovoltaic Modules", IEEE Tr. on, Power Electronics. Vol. 19, No. 4, pp. 1130-1139, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1109/PSEC.2002.1023842>
- [6] W. Desoto, S. A. Klein and W.A. Beckman, 'Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance', Solar Energy, Volume 80, Issue 1, Pages 78-88, 2006 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.010>

오 승 택(Seung-Taek Oh)

[정회원]



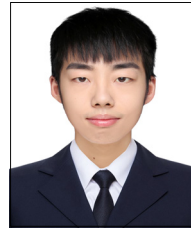
- 2016년 2월 : 한경대학교 전기전 자제어공학부 졸업
- 2018년 8월 : 한양대학교 공과대 학 전기공학과(공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 전기공학과 박사과정

<관심분야>

모터 제어, 인버터 설계 및 제어, 전력전자

다이지아리양(Jialiang Dai)

[준회원]



- 2019년 6월 : 중국 Ningbo 대학교 Electrical Engineering and Automation 학사 졸업
- 2020년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 전기공학과 석사과정

<관심분야>

전기기기, 자기부상, 전력계통

안 정 호(Jung-Ho Ahn)

[준회원]



- 2020년 2월 : 대구대학교 전자전 기공학부 학사 졸업
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 전기공학과 석박통합과정

<관심분야>

전기기기, 자기부상, 전력계통

박 광 우(Kwang-Woo Park)

[정회원]



- 2018년 2월 : 순천대학교 식품공 학과 학사
- 2021년 8월 : 전남대학교 전기및 반도체공학과 (공학석사)
- 2017년 7월 ~ 현재 : ㈜더블유피 기업부설연구소 선임연구원

<관심분야>

전력전자, 신재생에너지

진 창 성(Chang-Sung Jin)

[정회원]



- 2001년 3월 ~ 2003년 2월 : 한양대학교 공과대학 전기공학과(공학 석사)
- 2003년 2월 ~ 2007년 6월 : 대우일렉트로닉스 선임연구원
- 2007년 3월 ~ 2011년 2월 : 한양대학교 공과대학 전기공학과(공학 박사)
- 2011년 2월 ~ 2018년 3월 : 한화지상방산 국방로봇팀 책임연구원
- 2018년 4월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 조교수

〈관심분야〉

모터 설계 및 제어, 신재생에너지, 전기자동차, 드론