

포복경 영양 번식 최적화 알고리즘 기반 태양전지 최대 전력 점 추적에 관한 연구

정진우[†] · 정경권* · 이태원** · 박성일*** · 손영옥****

A Study on Vegetative Propagation by Runner Optimization Algorithm-based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic

Jin-Woo Jung[†] · Kyung-Kwon Jung* · Tea-Won Lee** · Sung-Il Park*** · Young-Ok Son****

요 약

외부 환경변화에 적응하여 MPP를 추적할 수 있는 포복경 영양 번식(VPR; Vegetative Propagation by Runner) 최적화 알고리즘 기반 MPPT 알고리즘을 제시하였다. VPR 알고리즘은 영양기관을 기반으로 군집 이동 번식하는 식물 생태를 모방한 알고리즘으로 식물의 노화 및 부근(Rhizome)에 대한 주변탐색 절차를 수행하여 최적점 인근의 주변을 지속적으로 탐색할 수 있다. 따라서 VPR 기반 MPPT 알고리즘의 경우, MPPT 알고리즘이 수행되는 시점에 발생하는 외부 환경변화에 적응하여 최적점을 탐색할 수 있다. 본 논문에서는 다수의 모의실험을 통해 VPR 기반 MPPT 알고리즘의 성능을 분석하였다. 더불어 PSO(Particle Swarm Optimization) 기반 MPPT 알고리즘과 동일한 환경에서 성능 비교를 통해 성능의 우수성을 비교하였다.

ABSTRACT

A Vegetative Propagation by Runner(VPR) Algorithm-based on MPPT Algorithm that can track MPP by adapting to external environmental changes is presented. VPR is an optimization algorithm that mimics the plant ecology of movement and reproduction based on vegetation organs. The VPR algorithm includes a procedure for aging and a procedure for searching the surroundings by rhizomes. Accordingly, it is possible to continuously search around the optimal point. Therefore, the VPR-based MPPT algorithm can continuously search for an optimal point by adapting the changes in the external environment in the process of executing the MPPT algorithm. In this paper, we analyzed the performance of the VPR-based MPPT algorithm by a number of simulations. In addition, the superiority of performance was compared by performance comparison in the same environment as MPPT algorithm based on PSO.

키워드

Photovoltaic, Interpolation model, MPPT Algorithm, VPR Algorithm, PSO Algorithm
태양 전지, 보간형 모델, 최대 전력점 추적 알고리즘, 포복경 영양 번식 알고리즘, 입자 군집 최적화 알고리즘

* 동신대학교, 에너지IoT전공 (kkjung@dsu.ac.kr)

** 동신대학교, 컴퓨터공학과 (taewon@dsu.ac.kr)

*** 동신대학교, 정보통신공학과 (psi@dsu.ac.kr)

**** (주)산정엔지니어링 (sj134679@nate.com)

[†] 교신저자 : 동신대학교 에너지IoT전공

• 접수일 : 2021. 04. 28

• 수정완료일 : 2021. 05. 23

• 게재확정일 : 2021. 06. 17

• Received : Apr. 28, 2021, Revised : May. 23, 2021, Accepted : Jun. 17, 2021

• Corresponding Author : Jin-Woo Jung

Dept. Energy IoT, Dongshin University,

Email : jungjw@dsu.ac.kr

I. 서론

태양전지를 이용한 태양광발전시스템은 무공해로 전기를 생산할 수 있을 뿐만 아니라 무한 에너지원인 태양을 기반으로 발전할 수 있어, 화석연료를 대체할 수 있는 신재생 에너지의 역할을 할 것이라고 기대되고 있다[1, 2].

태양전지 패널(Panel)은 기상요소(일사량, 온도)에 따라 민감하게 전압과 전류가 바뀌는 불안정한 전력 공급 장치이다. 더불어 패널이 배열(Array)되어 있는 경우, 다양한 외부환경(부분 음영, 낙엽 등)에 의해 배열된 일부 패널이 영향을 받게 되면 부정합 손실(Mismatch Loss)가 발생하여 비선형적인 출력 특성 곡선이 나타난다[3].

따라서 태양광발전시스템은 외부환경을 반영한 최대 전력 점(MPP; Maximum Power Point)을 추적할 수 있는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘에 의해 동작해야 한다[4, 5].

대표적인 MPPT 알고리즘으로 P&O(Perturbation and Observation)와 InC(Incremental Conductance)이 연구되어 왔다[6-8]. 그러나 상기 MPPT 알고리즘에서 부정합 손실이 발생한 경우에는 지역 수렴(Local Optima) 현상이 발생하여 최대 전력 점을 탐색하지 못하는 문제가 발생한다[9].

상기 문제를 해결하기 위해, 휴리스틱(Heuristics) 이론에 기반을 둔 입자 군집 최적화(PSO, Particle Swarm Optimization)알고리즘[10]을 적용한 MPPT 알고리즘이 연구되고 있다[9, 11].

PSO 기반 MPPT 알고리즘은 탐색 영역 내에 입자들이 상호 정보교환을 통해 이동하면서 최대 전력 점을 탐색하는 알고리즘이다. 여기서, 입자들은 입자별 최고 비용평가 위치와 군집 최고 비용평가 위치를 기준으로 이동하는데, 만약 알고리즘이 수행되는 중간에 외부환경이 변화되면, 군집 최고 비용평가 값이 이를 반영하지 못하기 때문에 최대 전력 점을 탐색하지 못하는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 기존 MPPT 알고리즘(P&O, InC)의 성능을 개선한 PSO 기반 MPPT 알고리즘의 외부 환경변화 대응 문제를 해결하기 위해, 휴리스틱 이론에 기반을 둔 포복경 영양 번식(VPR; Vegetative Propagation by Runner) 최적화 알고리즘[12]을 적용한 MPPT 알고리즘을 제시하였다. VPR 알고리즘은 영양기관을 이용하여 군집 번식하는 식물 생태를 모방한 알고리즘으로, 식물의

노화 현상과 부근에 의한 지속적 주변 탐색 절차가 가능하며, 외부 환경변화에 적응하여 최대 전력 점을 탐색할 수 있다.

본 논문은 VPR 기반 MPPT 알고리즘의 성능을 확인하기 위한 태양전지 모델 설정, PSO 및 VPR 기반 MPPT 알고리즘 설정 및 분석 그리고 외부환경 변화에 대응한 MPPT 성능 모의실험으로 구성되어 있다.

II. 태양전지 모델

본 장에서는 외부 환경변화 적응형 MPPT 알고리즘의 모의실험을 위한 태양전지의 수학적 모델에 관하여 기술하였다.

태양전지의 출력특성을 분석하기 위한 수학적 모델은 매우 다양하게 연구되어 왔다[13-15]. 본 논문에서는 참고문헌 [15]의 보간형 모델(Interpolation Model)을 이용하였다. 보간형 모델은 태양전지의 출력특성의 기하학적 형태 또는 태양전지의 온도 및 일사량 변화에 따른 출력특성을 기본으로 한 모델로, 요구되는 파라미터를 쉽게 구할 수 있어 태양전지 출력 특성을 쉽게 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다[13].

보간형 모델은 태양전지의 개방전압(V_{oc}), 단락전류(I_{sc}) 그리고 최대 전력점 전압(V_{mp}) 및 전류(I_{mp})를 기반으로, 참고 온도(T_{ref}) 및 일사량(S_{ref}) 대비 운영 온도(T) 및 일사량(S)의 영향을 반영한 모델로 출력전류(I) 및 전압(V)는 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$I = I_{sc} \left(1 - C_1 \left[\exp \left(\frac{V_R}{C_2 V_{oc}} \right) - 1 \right] \right) + D_I \quad (1)$$

$$V = C_2 V_{oc} \ln \left(\frac{\left[1 - \frac{I - D_I}{I_{sc}} \right]}{C_1} + 1 \right) \quad (2)$$

$$- \beta (T - T_{ref}) - R_s D_I$$

여기서 상수 C_1 과 C_2 는 식 (3) 및 (4)와 같다.

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right) \exp \left(- \frac{V_{mp}}{C_2 V_{oc}} \right) \quad (3)$$

$$C_2 = \left(\frac{V_{mp}}{V_{oc}} - 1 \right) / \ln \left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right) \quad (4)$$

식 (1) 및 (2)에 있어, D_I 와 V_R 온도와 일사량의 영향을 반영하여 식 (5) 및 (6)과 같이 계산된다.

$$D_I = \alpha \left(\frac{S}{S_{ref}} \right) (T - T_{ref}) + I_{sc} \left(\frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$V_R = V + \beta (T - T_{ref}) + R_s D_I \quad (6)$$

여기서 R_s 는 태양전지 내부 직렬 저항으로 이상적인 태양전지를 고려하여 '0'으로 설정하였다. 그리고 α 와 β 는 각각 단락전류 및 개방전압에 관한 온도 계수이다. 상기 태양전지에 관한 수학적 모델의 특성을 확인하기 위해, 표 1과 같은 MODULTEQ의 패널을 사용하였다.

표 1. MTS180M-24V 패널 사양
Table 1. MTS180M-24V Panel Specifications

Parameter	Value
Maximum power voltage (V_{mp})	36.36 [V]
Maximum power current (I_{mp})	4.95 [A]
Open circuit voltage (V_{oc})	43.64 [V]
Short circuit current (I_{sc})	5.45 [A]
Maximum system voltage	1000 [V]
Temperature coefficients of V_{oc}	-0.38/°C [%]
Temperature coefficients of I_{sc}	0.1/°C [%]

그림 1은 상기 태양전지의 수학적 모델에 표 1의 사양을 적용했을 때, 출력 특성을 보여준다. 여기서 운영 온도 (T)와 일사량은 각각 25°C와 1000[W/m²]로 설정하였다.

그림 2는 상기 모델기반 온도 및 일사량 변화에 따른 출력특성을 보여준다. 여기서, 온도 변화(25~100°C, step : 25°C)에 따른 출력특성 분석 시에는 일사량을 1000 [W/m²]로 설정하였으며, 일사량 변화(500~1000 W/m², step : 250 W/m²)에 따른 출력특성 분석 시에는 온도를 25°C로 설정하였다.

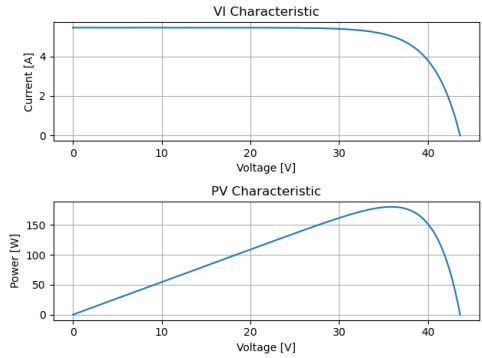


그림 1 태양전지 모델링에 따른 출력
Fig. 1 Output characteristic for PV modeling

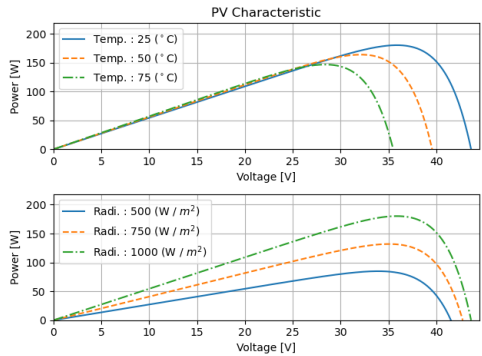


그림 2 태양전지 모델링에 따른 출력
Fig. 2 Output characteristic for PV modeling

분석 결과, 일사량 증가에 따라 개방전압과 단락전류는 증가하고, 온도 증가에 따라 단락전류는 약간 증가하지만, 개방전압이 큰 폭으로 감소하는 태양전지의 특성을 확인할 수 있어 원활한 수학적 모델임을 확인할 수 있다.

III. PSO / VPR 기반 MPPT 알고리즘

모델 분석을 통해 확인할 수 있듯이, 태양전지의 출력 특성은 외부환경에 영향을 받는다. 이와 같은 현상은 배열된 태양전지에 있어, 부정합 손실이 발생하면 더욱 커지게 된다. 따라서 효율적인 전력 출력을 위해서는 MPPT 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 VPR 기반 MPPT 알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘의 성능을 확인하기 위해, PSO 기반

MPPT 알고리즘과 비교 분석을 수행하였다. 본 장에서는 PSO 기반 MPPT 알고리즘과 VPR 기반 MPPT 알고리즘의 세부 내용에 관하여 기술하였다.

3.1 PSO 기반 MPPT 알고리즘

PSO 알고리즘은 생물학적 거동을 모사한 알고리즘으로 탐색 영역 내에 생성된 입자들을 이동 관성, 지역 최적화 위치 그리고 전역 최적화 위치를 기반으로 이동시키면서 탐색 영역을 이동 탐색하여 최적의 위치를 탐색하는 알고리즘이다. PSO 알고리즘은 구현을 위한 수식이 간단하고 탐색 영역 내 광역 탐색이 가능하여 최적화 값을 빠르고 높은 확률로 탐지하는 장점을 가지고 있다.

그림 3은 PSO 알고리즘의 흐름도를 보여준다.

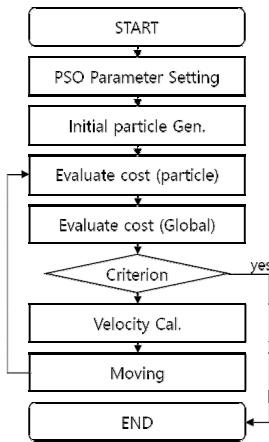


그림 3 PSO 알고리즘 흐름도
Fig. 3 Flowchart for PSO algorithm.

PSO 알고리즘의 원리는 식 (7)과 (8)에 의해 명확하게 정의된다.

$$v_i[t+1] = \omega v_i[t] + c_1 r (P_i^b - x_i[t]) + c_2 r (G^b - x_i[t]) \tag{7}$$

$$x_i[t+1] = x_i[t] + v_i[t+1] \Delta t \tag{8}$$

여기서 t 는 알고리즘 수행 횟수(Iteration), Δt 는 거리 산출을 위한 단위 시간변화로 알고리즘 수행 횟수의 증가분에 대응된다. v_i 는 입자의 이동을 위한 산출 속도, x_i 는 i -번째 입자의 위치, P_i^b 는 입자의 이동에 따른 입자별

최고 비용평가 위치 그리고 G^b 는 군집 입자 중 최고 비용평가 위치이다. ω , c_1 그리고 c_2 입자 이동을 위한 속도 산출 계수로 각각 관성 계수, 입자 별 최고 비용평가 위치 기반 속도 산출계수 그리고 군집 최고 비용평가 위치기반 속도 산출계수이다. 그리고 r 은 0~1 사이의 균일 난수 발생 함수를 뜻한다.

식 (7)과 (8)에서 확인할 수 있듯이, PSO 알고리즘은 다수의 입자들간 정보 교환을 기반으로 관성, 입자별 최고평가 위치 그리고 군집 최고평가 위치를 기반으로 벡터(Vector) 합을 통해 이동하면서 광역탐색을 수행하는 알고리즘이다.

입자의 위치는 식 (9)과 같이 표현된다.

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n] \tag{9}$$

PSO 알고리즘을 MPPT에 적용하는 경우, 입자의 위치(x)는 태양광발전시스템의 출력을 제어할 수 있는 제어 변수에 대응된다. 따라서 시스템에 따라 입자의 위치는 다차원 벡터로 표현될 수 있다. 그리고 비용평가 값은 제어변수에 대응되는 입자의 위치에 따른 태양광 발전시스템의 출력 전력이 된다.

PSO 기반 MPPT 알고리즘을 수행하게 되면, 입자들은 군집 최고 비용평가 위치로 수렴하게 되는데, 이때 군집 최고평가 위치가 MPP를 위한 시스템 제어 변수의 값이 된다.

3.2 VPR 기반 MPPT 알고리즘

VPR 알고리즘은 영양기관을 통해 군집 이동번식하는 식물 생태를 모방한 알고리즘으로 탐색 영역을 이동 번식하며 최적의 위치를 탐색하는 알고리즘이다. 탐색 영역을 이동하면서 상호 정보 교환을 통해 최적의 위치를 탐색한다는 점은 기존 PSO 알고리즘과 동일하다. 그러나 VPR 알고리즘은 부근에 의한 최적 위치 인근 주변 탐색과 함께 식물의 노화 현상에 관한 절차가 포함되어 있어, 변화하는 최적의 값을 지속적으로 탐색할 수 있는 차이점을 가지고 있다.

그림 4는 VPR 알고리즘의 흐름도를 보여준다.

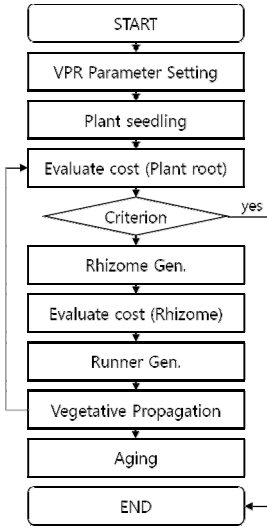


그림 4 VPR 알고리즘 흐름도
Fig. 4 Flowchart for VPR algorithm.

VPR 알고리즘의 원리는 식 (10) ~ (11)에 의해 명확하게 정의된다. (여기서 식물의 위치(\mathbf{x}_i)는 식 (9)와 동일한 원리에 의해 설정된다.)

$$run_i[t+1] = c_r r(S_i^b - \mathbf{x}_i[t]) + c_p r(P^b - \mathbf{x}_i[t]) \quad (10)$$

$$\mathbf{x}_i[t+1] = \mathbf{x}_i[t] + run_i[t+1] \quad (11)$$

여기서 t 는 알고리즘 수행 횟수, run_i 는 i 번째 식물의 번식을 위한 영양기관 발생 위치, S_i^b 는 i 번째 식물의 부근에 의해 탐색된 최고 비용평가 위치, P^b 는 식물군 전체 최고 비용평가 위치이다. c_r 과 c_p 는 영양 기관 생성위치 관련 계수로 부근 영향 반영계수와 식물군 최고평가 위치 반영계수이다. 그리고 r 은 0~1 사이의 균일 난수 발생 함수를 뜻한다.

부근은 i 번째 식물의 위치(주근의 위치)를 기준으로 발생해야 하므로 식 (12)와 같이 정의된다.

$$R_i = \mathbf{x}_i + c_s r_{norm} \quad (12)$$

여기서 c_s 는 부근 발생 계수이고, r_{norm} 은 정규분포 난수 발생함수이다. 이에 따라 부근은 주근(식물의 위치) 인근에 발생하게 된다.

식 (12)를 기반으로 판단할 때, VPR 알고리즘은 식물군 최고 비용평가 위치가 확인된 후에도, 부근에 의해 식물 주변 탐색이 수행될 수 있음을 알 수 있다.

VPR 알고리즘의 경우, 식물의 노화 절차가 포함되어 있다. 이 절차는 '식물은 노화에 의해 뿌리에 의해 양분을 덜 흡수하게 된다'라는 것을 모사한 절차로 식 (13)과 같다.

$$P^b = P^b \exp(-c_t att) \quad (13)$$

여기서 c_t 는 식물 노화 계수이고, att 는 식물 노화 시간이다. 식물 노화 시간은 알고리즘 수행 횟수에 비례하여 '1'씩 증가하도록 설계되었다. 이에 따라 식물군 전체 최고평가 값은 알고리즘 수행에 따라 감소된다. 만약 번식에 따라 새로운 최고 비용평가 위치가 갱신되는 경우, 식물 노화 시간은 '0'으로 초기화된다.

이와 같은 VPR 알고리즘은 시스템 운용 환경변화에 적응하여 최고 비용평가 위치를 탐색할 수 있을 뿐만 아니라 휴리스틱 알고리즘의 지역수렴 문제를 해소할 수 있다.

3.3 MPPT 모의실험

본 절에서는 PSO 및 VPR 기반 MPPT의 기본적인 성능을 모의실험을 통해 확인하였다. 모의실험의 조건은 부정합 손실이 발생한 태양광발전시스템으로 모의하였으며, 이에 따른 시스템의 출력은 그림 5와 같다고 가정하였다.

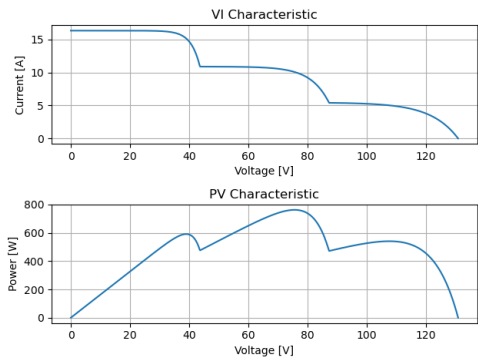


그림 5 부정합 손실 발생 모델에 따른 출력특성
Fig. 5 Output characteristic for Mismatch model

그림 5의 조건을 기반으로 PSO 및 VPR 기반 MPPT 알고리즘의 성능을 분석하였다. 여기서 각 알고리즘의 설정값은 표 2와 같다.

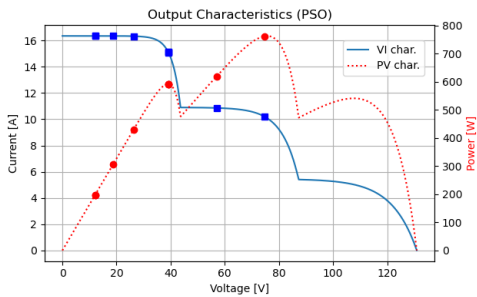
표 2. PSO / VPR 알고리즘 설정값
Table 2. Parameters for PSO / VPR Algorithm

	Parameter	value
P S O	Num. of particle	4
	ω	1
	c_1	2
	c_2	2
V P R	Num. of plant	4
	Num. of rhizome	2
	c_p	2.5
	c_r	1
	c_s	10
	c_t	0.05

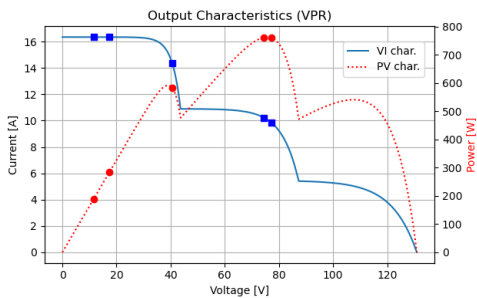
그림 6은 그림 5의 출력 특성을 가지는 태양광발전시스템에 있어, 각 알고리즘 기반 MPPT 실시 예를 보여준다. 입자(PSO) 및 식물(VPR) 들이 MPP 지점을 탐색할 수 있음을 확인할 수 있다. 여기서 마커(원, 사각형)은 알고리즘 수행 횟수에 따라 탐색된 경과(전류 및 출력)를 보여준다.

그림 7은 PSO 및 VPR 알고리즘의 성능을 확인하기 위해, 동일한 조건에서 모의실험을 1000회 수행했을 때의 각 MPPT 알고리즘의 종료 Iteration 결과를 보여준다. 여기서 알고리즘 종료 조건은 그림 5의 최대 전력 점(762W) 기준 2W 이하의 차이가 나는 지점이 탐색된 경우로 설정하였다. 더불어 알고리즘 수행 횟수가 40회 이상인 경우는 지역수렴으로 확정하고 MPP 탐색에 실패한 것으로 간주하였다.

분석 결과, PSO 및 VPR 기반 MPPT 알고리즘의 탐지 성공 확률과 탐색에 성공한 경우의 평균 알고리즘 수행 횟수는 각각 (98.9%, 5.24회)와 (100%, 4.542회)로 확인되었다.

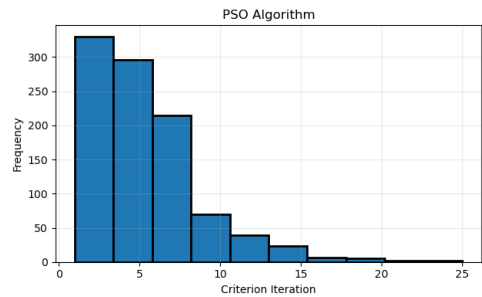


(a) PSO based MPPT Algorithm

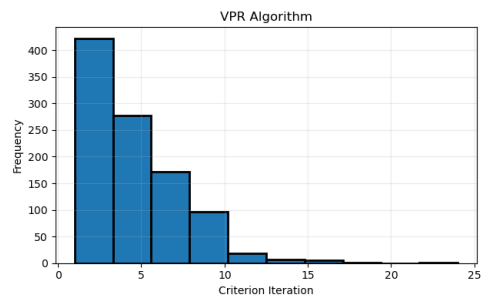


(b) VPR based MPPT Algorithm

그림 6 MPPT 알고리즘 모의실험 결과
Fig. 6 Simulated results for MPPT algorithms



(a) PSO based MPPT Algorithm



(b) VPR based MPPT Algorithm

그림 7 MPPT 알고리즘 히스토그램 결과
Fig. 7 Histogram results for MPPT algorithms

본 결과는 PSO 및 VPR 알고리즘의 기본 설정이 달라 완벽한 성능 비교 결과로 볼 수는 없다. 더불어 본 결과는 표 2의 설정값에 따라 변경될 수 있다. 그러나 두 알고리즘 모두 안정적으로 MPP를 탐색할 수 있음은 알 수 있다.

결과에 있어, VPR 기반 MPPT 알고리즘의 탐색성공 확률이 100%로 나온 것은 VPR 알고리즘의 특징인 부근에 의한 지속적인 주변탐색 절차에 의한 것으로, 기연구된 결과[12]와 같이 지역 수렴 현상을 개선할 수 있다는 점을 확인할 수 있다.

IV. 외부 환경변화 적응형 MPPT 성능

3장의 모의실험 조건은 태양광발전시스템에서 부정합 손실이 발생한 시점 이후의 MPPT 알고리즘 성능 비교이다. 본 장에서는 MPPT 알고리즘이 수행 중에 외부환경이 변화될 때, 각 알고리즘의 MPPT 성능을 비교하고자 한다.

그림 8은 외부환경 변화에 따라 부정합 손실이 발생하는 경우의 태양광발전시스템의 출력특성(PV특성)을 보여준다.

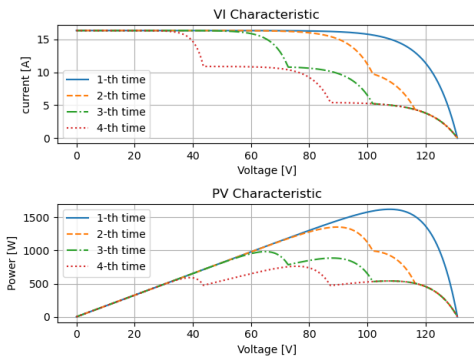


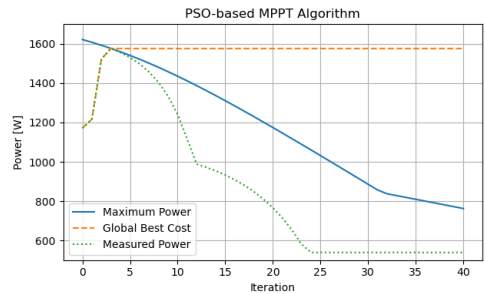
그림 8 환경변화에 따른 출력특성
Fig. 8 Output Characteristics with various Environments

그림 8의 결과에서 확인할 수 있듯이, 최대 전력 점은 시간에 비선형적으로 감소한다.

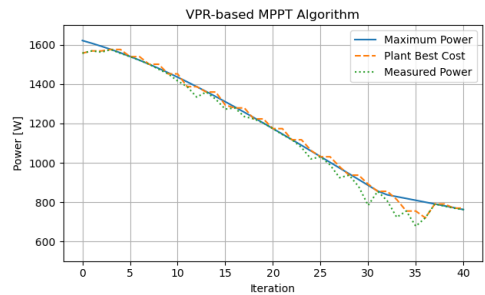
PSO 알고리즘은 식 (7)과 그림 3를 통해 확인할 수 있듯이, 군집 최대 비용평가 위치를 기준으로 입자들이 이동하면서 최적의 위치를 탐색하는 알고리즘이다. 여기서, 군집 최대 비용평가 위치는 군집 최대 비용평가 값이

갱신되는 경우에 새로운 값으로 조정된다. 이와 같은 원리에 따라 알고리즘이 수행되는 시점에서 군집 최대 비용평가 값이 낮아지는 경우, 과거의 군집 최대 비용평가 위치를 기준으로 입자들이 수렴하기 때문에 원활한 MPP를 탐색할 수 없다.

VPR 알고리즘 또한 식 (10)과 그림 4를 통해 확인할 수 있듯이, 식물군 최대 비용평가 위치를 기준으로 식물들이 이동 번식하면서 최적의 위치를 탐색하는 알고리즘이다. 여기서 식물군 최대 비용평가 위치는 PSO 알고리즘과 동일하게 식물군 최대 비용평가 값이 새롭게 조정되는 경우에 맞춰 갱신된다. 따라서 PSO 기반 MPPT 알고리즘과 동일한 현상이 발생할 수 있다. 그러나 VPR 알고리즘의 경우, 식 (13)과 같이 알고리즘 수행 횟수에 따라 식물이 노화되어 식물군 최대 비용평가 값이 감소한다. 이와 같은 현상에 따라 외부 환경변화에 따라 최대 출력전력이 감소하더라도 원활하게 MPP를 탐색할 수 있다.



(a) PSO based MPPT Algorithm



(b) VPR based MPPT Algorithm

그림 9 적응형 MPPT 모의실험 결과
Fig. 9 Simulated results for Adaptive MPPT

그림 9는 태양광발전시스템의 출력이 그림 8의 1th time에서부터 4th time까지 40 단계로 변화된다는 가정

을 기반으로 각 변화에 따라 알고리즘이 1회 수행된다는 가정을 기반으로 각 알고리즘 기반 MPPT를 수행한 결과를 보여준다.

PSO 기반 MPPT 알고리즘의 경우, 초기에 확인된 군집 최고 비용평가가 값을 기반으로 MPP 점을 탐색하기 때문에, 외부 환경변화에 대응하지 못하고 고정된 위치에 입자들이 수렴된 것을 확인할 수 있다.

VPR 기반 MPPT 알고리즘의 경우, 식물 노화 현상에 의해, 알고리즘 내부 식물군 최고 비용평가 값이 낮아지게 되고, 만약 이 값이 실질적인 최대 출력 전력보다 낮아지게 되면, 재 탐색하게 된다. 이에 따라 지속적으로 MPP를 탐색함을 알 수 있다.

그림 10은 VPR 기반 MPPT 알고리즘을 상기와 동일한 외부 환경변화를 기준으로 1000회 수행하였을 때, 외부 환경변화(알고리즘 수행 횟수)에 따른 실질적인 최대 전력 출력값과 탐색된 최대전력 출력값 사이의 평균 오차를 보여준다.

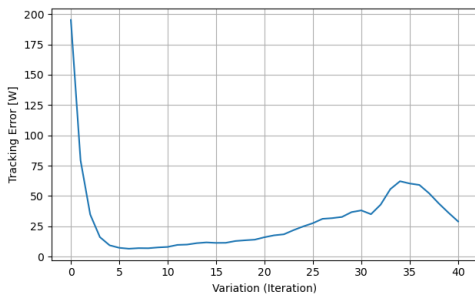


그림 10 평균 MPP 탐색 오차
Fig. 10 Mean MPP tracking error

분석 결과, 알고리즘 수행 초기에는 무작위 난수 발생 함수에 의해 발생한 초기 식물군 위치에 의해 오차가 크고, 알고리즘이 수행됨에 따라 안정적으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 그림 8과 같이 MPP 점이 부정합 손실에 의한 비선형적으로 변화하는 부분에서, 재탐색에 의해 오차가 조금 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 전체적으로 안정적인 MPP를 탐색할 수 있음을 확인할 수 있다. 1000회 모의실험을 통한 전체 평균 탐색 오차는 약 30.6W로 확인되었다.

V. 결론

본 논문에서는 MPPT 알고리즘에 관하여 연구하였다. 본 논문에서 제시된 논문은 VPR 최적화 알고리즘을 기반으로 한 MPPT 알고리즘이다. VPR 알고리즘은 부근에 의한 주변탐색과 식물의 노화 현상이 반영되어 있는 알고리즘으로, 휴리스틱 알고리즘이 가지고 있는 지역수렴 현상을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 최대 비용평가 값이 알고리즘 수행 중 변화되더라도 적응형으로 최대 비용평가 위치를 탐색할 수 있다. 이와 같은 특징을 가지는 VPR 알고리즘을 MPPT에 적용할 경우, 부정합 손실이 발생한 경우에도 원활하게 MPP를 탐색할 수 있음을 확인하였다. 더불어 알고리즘이 수행되는 과정에서 외부환경이 변하더라도 변화에 적응하여 MPP를 탐색할 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 제시된 MPPT 알고리즘은 기존에 연구된 PSO 기반 MPPT 알고리즘과 비교 분석을 통해 성능의 우수성을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 2020년도 전남테크노파크에서 정책지원단의 2020년 지역수요맞춤형 연구개발사업(연구성과 사업화 지원사업/역량강화 연구개발 지원사업)의 지원으로 수행되었음.

(No.202001420001 태양광 발전시스템 스트링단위의 불균형 현상 개선을 위한 MIC 개발)

References

- [1] M. Han, J. Woo, and J. Lee, "Power generation change according to angle control of solar power plant panel," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 4, Aug. 2019, pp. 685-692.
- [2] T. Seo, J. Woo, and J. Lee, "Analysis on Building and Monetization of Solar Power Generation Complex through Rental of Private and Institutional Idle Space," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 4, Aug. 2019, pp. 693-700.
- [3] B. Yoon, S. Kim, S. Choi, Y. Jin, C. Yun, and W. Kwon, "PV Module Mismatch Power Loss

- Analysis by Partial Shade and Study for Improving the Power Loss," *New & Renewable Energy*, vol. 7, no. 2, Dec. 2016, pp. 14-23.
- [4] S. Ock and O. Yang, "A study on the new MPPT control method for grid-connected PV generation system," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 10, no. 2, Feb. 2012, pp. 28-34.
- [5] J. Min and W. Choi, "Analysis of power generation characteristics according to the MPPT algorithm period," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 67, no. 4, Dec. 2018, pp. 233-237.
- [6] C. William and R. Ramesh. "Comparative study of P&O and InC MPPT algorithms," *American Journal of Engineering Research*, vol. 2, no. 12, 2013, pp. 402-408.
- [7] S. Moon, J. Kim, B. Park, and J. Kim, "Maximum power control of tidal current generation system using P&O algorithm," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, vol. 22, no. 3, June 2017, pp. 199-206.
- [8] F. Liu, S. Duan, F. Liu, B. Liu, and Y. Kang, "A variable step size INC MPPT method for PV systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 7, July 2008, pp. 2622-2628.
- [9] K. Ishaque, Z. Salam, M. Amjad, and S. Mekhilef, "An Improved Particle Swarm Optimization (PSO) -Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 8, Aug. 2012, pp. 3627-3638.
- [10] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, Perth, Australia, Nov. 1995, pp. 1942-1948.
- [11] H. Li, D. Yang, W. Su, J. Lü, and X. Yu, "An overall distribution particle swarm optimization MPPT algorithm for photovoltaic system under partial shading", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 1, Jan. 2019, pp. 265-275.
- [12] J. Jung, "Vegetative Propagation by Runners Optimization Algorithm," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 55, no. 9, Sept. 2018, pp. 25-31.
- [13] G. Choe, B. Jeong, B. Kang, and M. Lee, "Analysis of New Solar Cell Model for the Virtual Implemented Solar Cell System," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, vol. 11, no. 1, Feb. 2006, pp. 79-90.
- [14] T. Marnoto, K. Sopian, W. Daud, M. Algoul, and A. Zaharim, "Mathematical model for determining the performance characteristics of multi-crystalline photovoltaic modules," *Proc. WSEAS Int. Conf. on Mathematical and computational methods in science and engineering*, Trinidad and Tobago, Nov. 2007, pp. 79 - 84.
- [15] K. Khouzam and K. Hoffman, "Real-time simulation of photovoltaic modules," *Solar Energy*, vol. 56, no. 6, June 1996, pp. 521-526.

저자 소개

정진우(Jin-Woo Jung)



2005년 전남대학교 정보통신공학과 졸업 (공학사)

2007년 전남대학교 대학원 전자정보통신공학과 졸업 (공학석사)

2011년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

2012년 ~ 2017년 국방과학연구소 선임연구원

2018년 ~ 현재 동신대학교 에너지IoT전공 조교수

※ 관심분야 : 안테나, 위상배열안테나, 적응형 빔 형성 알고리즘

정경권(Kyung-Kwon Jung)



1998년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2000년 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 동국대학교 대학원 전자학과 졸업(공학박사)

2009년 ~ 2016년 전자기술연구원 연구원

2016년 ~ 현재 동신대학교 에너지IoT전공 조교수

※ 관심분야 : IoT, 임베디드시스템, 인공지능



이태원(Tea-Won Lee)

1993년 전남대학교 전자공학과 학사 졸업. (공학사)

1998년 전남대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업(공학석사)

2003년 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2003년 ~ 2018년 LG 전자

2018년 ~현재 동신대학교 컴퓨터공학과 조교수

※ 관심분야 : IoT, 센서, 디지털회로설계



박성일(Sung-II Park)

2002년 동신대학교 정보통신공학과 졸업 (공학사)

2004년 동신대학교 대학원 정보통신공학과 졸업 (공학석사)

2010년 전남대학교 대학원 전자정보통신공학과 졸업(공학박사)

2014년 ~ 현재 동신대학교 정보통신공학과 부교수

※ 관심분야 : 전자회로, RF부품, 이동통신안테나



손영옥(Young-Ok Son)

2011년 한국방송통신대학교 법학과 졸업(법학사)

2013년 전남대학교 경영대학원 경영학과 졸업 경영전문석사(기술경영전문석사 MOT MBA)

2016년 전남대학교 행정대학원 행정학과 졸업(행정학석사)

2020년 전남대학교 일반대학원 지역개발학과 졸업(도시·지역개발박사)

2012년 ~현재 (주)산정엔지니어링 대표

※ 관심분야 : 전자·전기통신시스템, 동작감지시스템