

태양광 패널 연결 구조에 따른 전기자동차 추가 주행거리 분석 및 비교

고재환, 박성민

홍익대학교 전기전자융합공학과

Analysis and Comparison of Additional Driving Range of Electric Vehicles According to PV Panel Connection Structures

Jae-Hwan Ko, Sung-Min Park

Hongik University

ABSTRACT

현재 전기자동차의 경우 내연기관 자동차에 비해 짧은 주행거리를 가지고 있는 문제점이 있다. 태양광 패널을 전기자동차의 외부 표면에 부착하여 주행 및 주차할 때 배터리를 충전함으로써 이러한 단점을 보완할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 MATLAB/Simulink를 통해 다양한 그림자 조건에서 차량에 부착한 태양광 패널의 여러 가지 구조에 따른 태양광 전력 생산량을 분석하고 전기자동차의 주행거리 증가량을 계산한다.

1. 서 론

내연기관 자동차에서 발생하는 이산화탄소와 같은 온실가스를 줄이기 위해서 내연기관 자동차를 전기자동차로 대체하고 있다. 그러나 전기자동차의 경우 내연기관 자동차보다 짧은 주행거리를 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 전기자동차 외부 표면에 PV Panel 5개를 부착하여 배터리를 충전함으로써 기존의 짧은 주행거리 단점을 보완할 수 있다. 태양광 발전의 경우 동일한 수의 패널을 연결하더라도 어떤 구조로 연결하느냐에 따라 동일한 그림자 조건에서도 최대전력점(MPP, Maximum Power Point)에서의 전력 생산량이 다르다. 본 논문에서는 전기차 외부 표면에 5개의 패널을 부착하였을 때 여러 그림자 조건에서 6가지 P V Array 연결 구조에 대하여 MATLAB/Simulink를 통하여 연간 전력 생산량 분석 및 전기차의 연간 추가 주행거리를 계산한다.

2. 태양광 모듈 연결방식 및 그림자 조건

MATLAB/Simulink를 통하여 PV Panel에 대한 시뮬레이션을 위해 식 (1)과 표 1의 PV Panel 사양(Tata Power Solar - TP250)을 사용해 모델링 하였고 시뮬레이션을 진행하였다. PV Panel은 60개의 PV cell을 직렬로 연결하였고 그림 2(a)에서 직렬로 연결된 15개의 cell과 병렬로 Bypass Diode로 연결함을 나타내었다. PV Panel의 경우 요구되는 출력 전압, 전류를 위해서 PV Panel을 여러 개 연결할 때 구조를 다르게 하여 연결한다. 또한 구름, 나무, 건물 등 주변 사물들에 의해서 연결된 PV Panel에 그림자가 질 경우 연결 구조별로 출력 특성곡선, 최대전력점, 최대전력도 다르다.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{nkT_c}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_p} \quad (1)$$

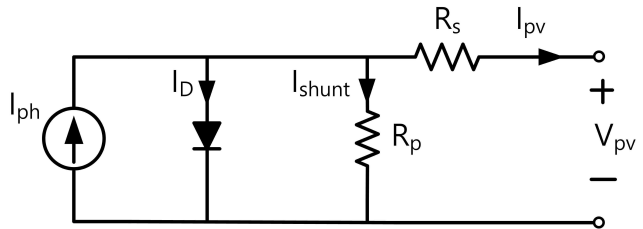


그림 1 PV Cell 등가회로

표 1 PV Panel 사양 - Tata Power Solar TP250

Parameters	Value
Open Circuit Voltage (V_{oc})	37.3 [A]
Short Circuit Current (I_{sc})	8.71 [A]
Maximum Power Point Voltage (V_{mpp})	30.2 [V]
Maximum Power Point Current (I_{mpp})	8.3 [A]
Maximum Power Point Power (P_{mpp})	250 [W]

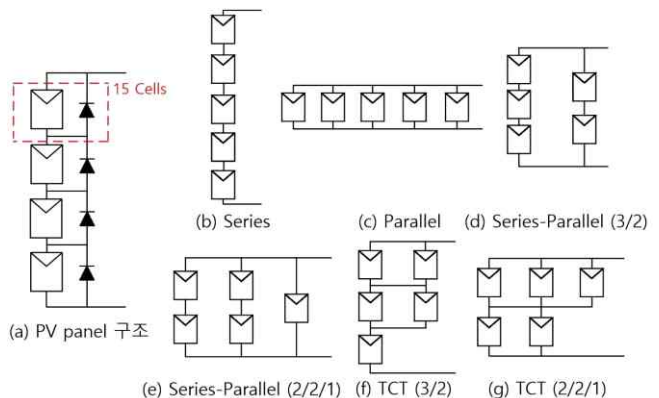


그림 2 PV Panel 구성 및 연결 구조

그림 2(b) ~ (g)의 6가지 구조는 그림 3(1) ~ (6)의 6가지 그림자 조건에서 전력 생산량을 비교할 PV Panel 연결구조이다. 그림 2(a)에서는 각 그림자 조건에서 차량 외부의 부착된 PV Panel의 위치를 나타낸다. PV Panel 부착을 통해 얻는 전력 생산량을 구하기 위한 시뮬레이션의 경우 4가지 조건을 설정해 두고 진행하였다. (1) 차량의 Left, Right에 부착된 Panel은 Roof에 부착된 Panel 대비 대략 40%의 일사량을 받는다^[1]. (2) Partial Shading 부분은 40%의 일사량을 받는다. (3) PV Panel의 온도는 25℃로 고정한다. (4) PV Array는 최대전력점에서 동작하여 최대전력을 생산한다. 표 2의 월별 평균 일사량은 '신재생 에너지 데이터 센터'에서 제공하는 일사량 데이터를 이용하여 구하였다.

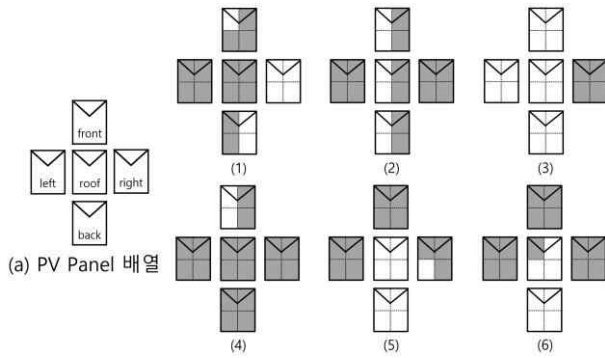


그림 3 PV Panel 배열 및 그림자 조건

표 2 월별 일조시간 평균 일사량

월	일사량	월	일사량
1 월	262.2 W/m^2	7 월	313.9 W/m^2
2 월	319.5 W/m^2	8 월	359.3 W/m^2
3 월	432.8 W/m^2	9 월	374 W/m^2
4 월	401.2 W/m^2	10 월	387.4 W/m^2
5 월	498 W/m^2	11 월	330.6 W/m^2
6 월	302.1 W/m^2	12 월	318.7 W/m^2

3. 시뮬레이션 결과

그림 4는 각 PV Panel 연결 구조를 6가지 그림자 조건에서 시뮬레이션하여 구한 $P_{Y.avg.total}$ (연간 총 평균 전력 생산량)를 나타낸다. 식 (3)을 통해 각 그림자 조건에서 구한 $P_{Y.avg}$ (연간 전력 생산량 평균값)을 이용하여 6가지 그림자 조건에서 평균값을 구한 것이 $P_{Y.avg.total}$ 이다. 가장 높은 전력 생산량을 보인 구조는 Parallel 구조이며 763.07kWh를 생산하며 다음으로 높은 전력 생산량을 보인 TCT(2/2/1) 구조는 752.22kWh 가장 낮은 전력 생산량을 보인 Series 구조는 570.55kWh이다. $P_{Y.avg.total}$ 과 현대자동차 아이오닉 5의 사양을 이용하여 연간 추가 주행거리를 계산하였다. 아이오닉 5는 458km를 주행하는데 77.4kWh를 사용하는 것을 통하여 계산할 경우 1km당 169Wh를 소모한다. 연간 추가 주행거리를 구하게 될 경우 Parallel 구조는 4515.33km, TCT(2/2/1) 구조는 4451.11km, Series 구조는 3376.13km이다. 그림 5(a)는 6가지 그림자 조건에서 각 PV Panel 연결구조의 $P_{Y.avg}$ 이며 그림 5(b)는 6가지 구조의 $P_{Y.avg}$ 을 % 비율로 표현한 차트이다. 6번째 그림자 조건을 제외한 나머지 그림자 조건에서 Parallel 구조가 TCT(2/2/1) 구조보다 높은 전력을 생산한다는 것을 확인할 수 있고 그로 인해 연간 평균 전력 생산량은 TCT(2/2/1) 구조보다 Parallel 구조가 더 높다. 또한 가장 낮은 전력을 생산하는 Series 구조는 6가지의 그림자 조건에서 1번째 그림자 조건을 제외하고는 나머지 5가지 조건에서 모두 낮은 전력을 생산한다.

$$P_n = n\text{월 시간당 전력} \times \text{일조시간} \times \text{해당 월의 일} \quad (2)$$

$$P_{n.Y.avg} = \sum_{n=1}^{12} P_n \quad (3)$$

$$P_{Y.avg.total} = \frac{\sum_{n=1}^6 P_{n.Y.avg}}{6} \quad (4)$$

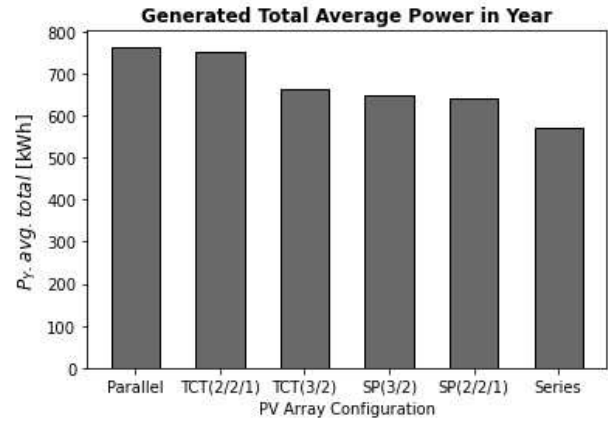


그림 4 6가지 PV Panel 연결 구조의 연간 평균 전력 생산량

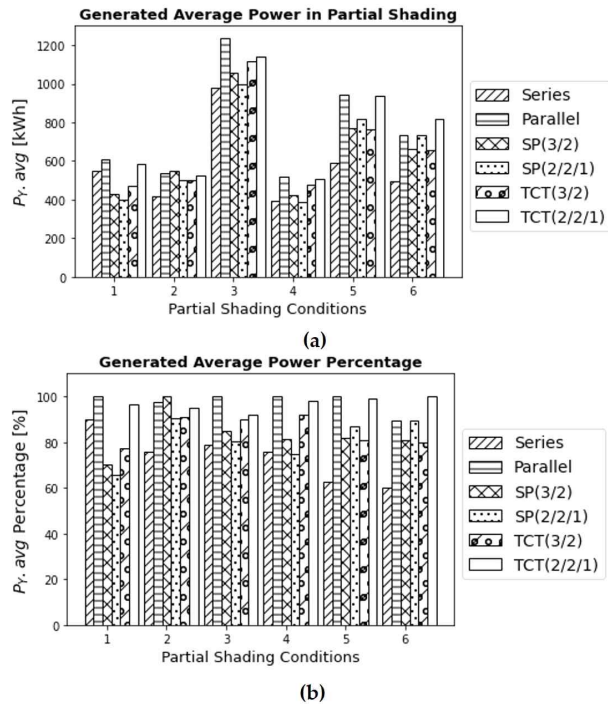


그림 5 6가지 그림자 조건에서 연결 구조별 전력 생산량

4. 결 론

본 논문에서는 전기차의 짧은 주행거리 단점 보완을 위해 전기차 외부 표면에 5개의 패널을 부착하였을 때 6가지 PV Array 연결 구조 및 6가지 그림자 조건에서 아이오닉 5의 사양을 기준으로 추가 주행거리를 구하였다. MATLAB/Simulink를 통하여 시뮬레이션 한 결과 연간 추가 주행거리는 Parallel 구조가 4515.33km, TCT(2/2/1) 구조가 4451.11km로 6가지 구조 중에서 높은 추가 주행거리를 가졌다. 또한 Series 구조의 경우 3376.13km로 가장 낮은 추가 주행거리를 가진다.

참 고 문 헌

- [1] Gustav Wetzel, Leon Salomon, Jan Krügener, Dennis Brede meier and Robby Peibst, "High time resolution measurement of solar irradiance onto driving car body for vehicle integrated photovoltaics", Prog Photovolt Res Appl. p p. 543–551, 2022