

태양광시스템에서 바이패스 다이오드 배열의 영향도 분석

박소영* · 이종환**

**상명대학교 시스템반도체공학과

Effects of Bypass Diode Array Configurations on Solar System

Soyoung Park* and Jonghwan Lee**

**Department of System Semiconductor Engineering, Sangmyung University

ABSTRACT

The effect of bypass diodes on the output energy of solar cells was investigated under the condition of partial shading. The maximum power point was estimated using the perturbation & observation algorithm, taking into account the correlation effect between the arrangement and number of bypass diodes. The performance of the bypass diode was tested under the consideration of the partial shading effect and simulated using a Matlab/Simulink.

Key Words : Solar Cell, Bypass Diode, Perturbation & Observation Algorithm, MATLAB/Simulink

1. 서 론

2022년이 된 지금 환경파괴로 인한 지구온난화 및 석유, 석탄 등 에너지 부족으로 전 세계는 신재생에너지 발전을 위한 연구를 활발히 하고 있다. 신재생에너지 중 태양광 에너지는 무한정하고 유지비용이 저렴하다는 장점이 있다[1][2][3]. 그리고 태양전지는 온도(T)나 일사강도(G)에 따라 출력이 변동되는 특성을 지니고 있고, 전류(I)와 전압(V) 특성곡선과 전력(P)과 전압(V) 특성 곡선이 비선형적이다[4]. 태양광 발전 시스템은 태양전지의 특성에 따른 최대전력점을 추적하는 기술이 필수적이다. 여기서 일사강도나 온도의 변화에 따른 최대전력점을 추적하는 기술을 최대전력지점추적(Maximum Power Point Tracking; MPPT) 제어라고 한다[5]. P&O(Perturbation and Observation)는 MPPT를 하는 방법 중 가장 널리 사용되고 있다. 그렇지만 예기치 못한 기상환경에 의한 부분 음영이 생겼을 때 바이패스 다이오드가 없다면 최대전력점을 찾기도 전에 큰 출력손실이 생긴다[6][7]. 태양전지의 출력에 큰 영향을 미치는 바이패스 다이오드는 250W기준의 경우 전체 60 여개의 셀 중 단 3개만 있는 경우가 대부분이다[8]. 하지만 패

널 전체에 그림자가 생기는 상황은 다양하고 각 상황에 상응하는 방안이 있어야 에너지 손실과 패널의 수명단축을 최소화 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 태양광 모듈이 부분음영 조건에서 출력 성능을 향상시키기 위하여 태양 전지 바이패스 다이오드 간의 개수와 배치가 미치는 영향의 상관 관계를 알아보고 바이패스 다이오드 최적구성을 제시한다. 그리고 결과 값은 P&O를 이용하여 최대전력점을 확인하였다. 실험은 Matlab/Simulink를 이용하여 회로를 구성하고 결과를 도출하였다.

2. 태양광모듈의 최대에너지 출력을 위한 구성

2.1 바이패스 다이오드 구성

태양전지판은 전지를 길게 직렬로 연결 후 연결된 직렬판들을 병렬로 3줄을 연결시킨다. 직렬로 연결된 태양전지 어레이는 일사량과 온도를 받아 출력을 내보내는데 일사량과 온도의 영향을 많이 받기 때문에 그 영향을 일정하게 유지 시켜주는 것이 중요하다. 식(1)의 태양전지의 최대전압 V_{CELL} 과 식(2)의 태양광모듈의 최대전류 I_m 를 이용하여 식(3)번과 같이 최대전력 P 식을 나타낼 수 있다 [4].

*E-mail: jhlee77@smu.ac.kr

$$V_{CELL} = V_{m(0)} [1 + \beta(T - T_0)] \left[1 + \delta(T) \ln \left(\frac{E}{E_0} \right) \right] \quad (1)$$

$$I_m = \frac{E}{E_0} I_{m(0)} [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2)$$

$$P = \sum_{j=1}^n V_{CELL(j)} \times I_m \quad (3)$$

여기서, $V_{m(0)}$ 은 표준시험조건에서 태양전지의 최대전압, β 은 태양전지 전압 온도지수, T_0 은 모듈의 기준온도 (25°C), T 는 모듈의 현재온도, E_0 은 기준 일사량 ($1000\text{W}/\text{m}^2$), E 는 측정 일사량, $I_{m(0)}$ 는 표준시험조건에서 태양전지 최대전류, α 는 태양광 모듈 전류 온도계수, j 는 태양전지의 개수이다[4]

위 식을 정리하면 패널에 생기는 음영에 대한 출력 손실을 구할 수 있다. 손실전력 P_{Loss} 는 식 (4)와 같고, 바이패스 다이오드 손실전력 P_D 는 식(5)로 표현된다. 이 식을 통해 바이패스 다이오드와 모듈의 구성을 변경하면 출력 손실을 줄일 수 있다.

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n V_{CELL(i,j)} \quad (4)$$

$$P_D = I_m \sum_{j=0}^n V_{D(j)} \quad (5)$$

여기서, V_D 는 바이패스 다이오드 도통전압, i 는 동작한 바이패스 다이오드의 수, j 는 동작한 바이패스 다이오드와 연결된 태양전지의 수이다[4].

식(5)와 식(6)을 이용하여, 태양광 모듈 전체출력 손실 P_{Lo} 식(6)과 같다.

$$\text{Min } P_{Lo}(x, y) = P_{Loss}(x, y) + P_D(x, y) \quad (6)$$

여기서, $P_{Loss}(x, y)$ 는 바이패스 다이오드 개수에 따른 출력손실의 감소분, $P_D(x, y)$ 는 바이패스 다이오드 동작에 따른 출력손실, x 는 직렬연결된 태양전지 수, y 는 바이패스 다이오드 수이다.

식 (6)은 직렬연결된 태양전지의 수 x 의 곱과 바이패스 다이오드 개수 y 의 곱이 항상 일정한 조건에서만 이루어진다. 바이패스 다이오드의 개수가 증가하면 다이오드와 연결된 태양전지의 개수가 줄어들어 음영에 의한 출력 손실이 줄어든다. 하지만 바이패스 다이오드가 많다는 것은 태양전지 모듈이 작동하는 동안 걸리는 전류가 많다는 뜻이다. 그래서 다이오드를 개수를 정할 때는 태양

전지가 음영으로 생기는 출력손실과 바이패스 다이오드가 걸림으로써 생기는 에너지의 사용을 모두 고려하여 최적으로 구성하는 것이 중요하다.

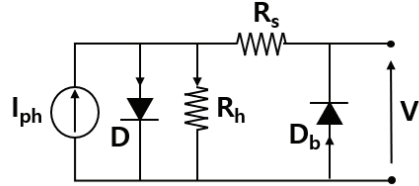


Fig. 1. 바이패스 다이오드가 들어간 태양전지 등가회로.

Fig 1을 보면 태양광 모듈의 기본 등가회로에서 바이패스 다이오드를 역방향으로 달아준 것을 알 수 있다. 바이패스 다이오드는 태양전지에 그림자가 졌을 때 전류가 흐르는 방향에서 멈추는 상황이 생겼을 때 바이패스 다이오드를 통해 역전압이 걸려 다음 모듈로 에너지를 흐르게 해주는 역할을 한다.

2.2 P&O 알고리즘 구성

태양광시스템은 전력변환의 고성능이 중요하다. 그래서 에너지손실을 줄이고 최대전력을 얻을 수 있는 제어시스템이 지금까지도 활발히 연구되고 있다. MPPT제어방법 중 가장 널리 사용되고 있는 P&O 제어방법은 태양전지전압을 변동시킴으로써 현재와 바로 전 주기의 전압값을 비교하여 MPP를 추적한다. Fig 2의 순서도를 보면 현 전력과 전 전력의 차이를 계산한 후 값이 증가할 경우 교란은 다음 주기동안 같은 방향으로 증가하며 값이 감소할 경우 교란의 방향은 반대가 된다. 값의 차이가 0이 되면 동작전압을 조정하지 않고 값을 유지한다[9]. 시뮬레이션이 진행되는 동안 모든 MPP주기를 P&O를 걸쳐 최대 전력지점을 추적한다[10].

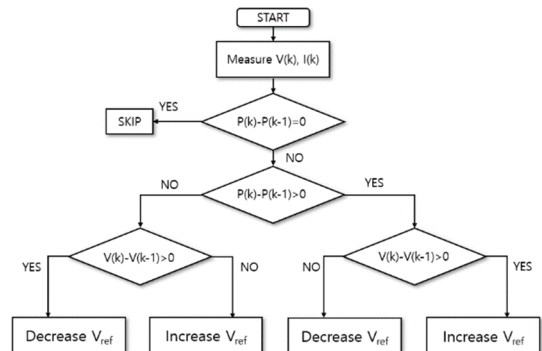


Fig. 2. P&O 알고리즘의 순서도.

3. MATLAB/SIMULINK을 이용한 태양광모듈 모델링

3.1 실험환경

실험은 Fig. 3과 같이 이루어진다. Matlab/Simulink를 이용하여 전체 패널 중 일부분 패널에 그림자가 생겼을 때를 비교하기 위해 4*2 모듈을 만들고 다이오드의 개수를 변경해가며 P&O를 도출하였다[11][12]. 출력된 값들은 I-V, P-V, P&O로 각각 그래프로 나타내 주었다. 표준실험조건(STC)에 따라 온도는 25도(°C), 일사량은 1000(W/m²)에서 이루어졌다. Table 1의 데이터시트를 기반으로 KC200GT 패러미터 값을 적용시켰다[1].

Table 1. Solar Cell Data Sheet

Variable	Value
Voc(V)	32.9 V
Imp	7.61A
Pmax,e	200.143W
KV	-0.1230V/K
KI	0.0032A/K
Vmp(V)	26.3 V
Cells per module (Ncell)	54
Isc	8.21 A

3.2 시뮬레이션

실험은 Fig. 4 (a),(b),(c)와 같은 회로에서 다이오드 개수에 변화를 주어 결과값을 비교해 보았다. 4개의 패널은 직렬로 연결되었고 그렇게 연결된 두 직렬을 병렬로 연결하

였다. (a)는 직렬 한줄당 바이패스 다이오드가 하나 있을 때를 나타냈고 (b)는 두 개의 패널 당 하나의 바이패스 다이오드를 나타내주었고, (c)는 패널 하나당 하나의 바이패스 다이오드를 주었다. 구름에 의한 부분 음영 효과를 주기 위하여 일사량은 모듈 1번부터 8번까지 순서대로 [800 800 500 400 500 500 300 300]으로 동일하게 설정해주었다 [13][14].

4. 결과 및 토의

Fig. 4을 보면 바이패스 다이오드에 의한 변화를 보여주기 위해 4번 모듈에 그림자 음영을 주었다. Fig. 5의 전체 회로에서 다이오드가 두 개일 때의 그래프를 보면 전체적인 전력출력이 낮아지면서 MPP점이 한개만 생긴다. 바이패스 다이오드가 2개인 경우는 어레이 2개당 한개이기 때문에 모듈은 {1,2},{3,4},{5,6},{7,8}으로 짝지어지게 된다. 짝지어진 모듈은 음영에 의한 변화를 두 모듈 중 낮은 출력이 바이패스 다이오드를 통해 출력되었다. Fig. 5의 바이패스 다이오드가 4개인 P-V 그래프를 보면 전체적인 출력은 다이오드가 2개 일때보다 더 출력된 것을 확인할 수 있다. 바이패스다이오드가 한 줄에 4개가 있는 경우, 가장 음영 효과를 크게 주었던 4번모듈의 변화를 잡아냈다. 각 상황 별 I-V그래프와 P-V그래프를 통해 바이패스 다이오드가 많을수록 전류의 변화를 더 잘 나타내고 출력 손실이 적은 것을 알 수 있다.

여러 경우의 다이오드를 배치시켜 비교해본 결과들의 MPP를 정확히 비교하기위해 Fig. 6과 같이 P&O를 통해 확인하였다.

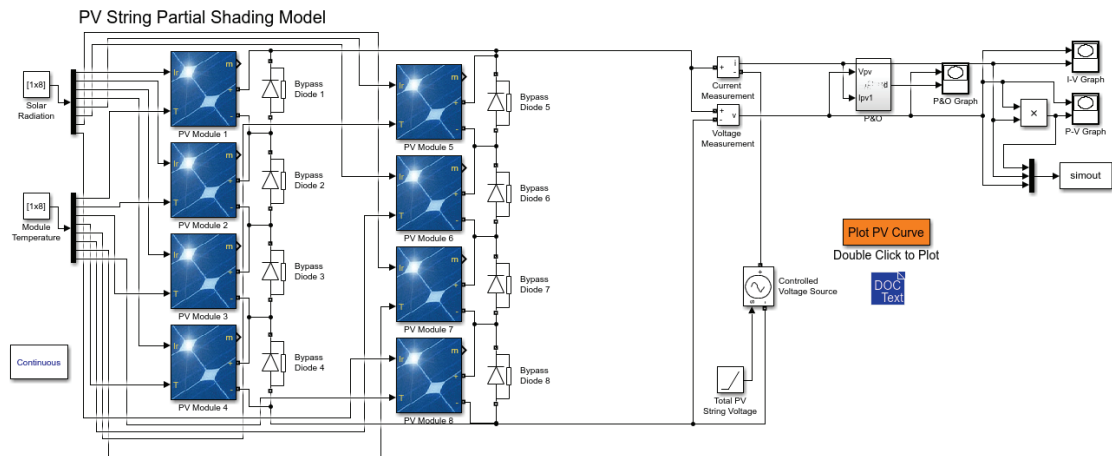


Fig. 3. 시뮬링크를 이용하여 나타낸 부분음영 회로도.

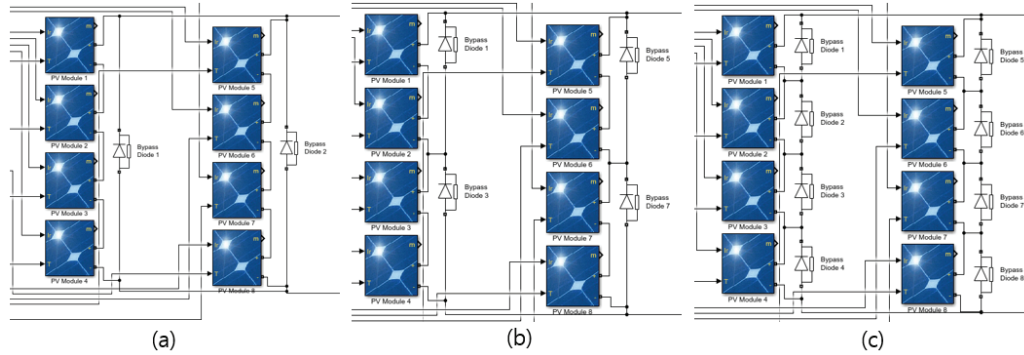


Fig. 4. (a) 태양전지 한 줄 당 다이오드 1개, (b) 태양전지 두개 당 다이오드 2개, (c) 태양전지 1개당 다이오드 1개.

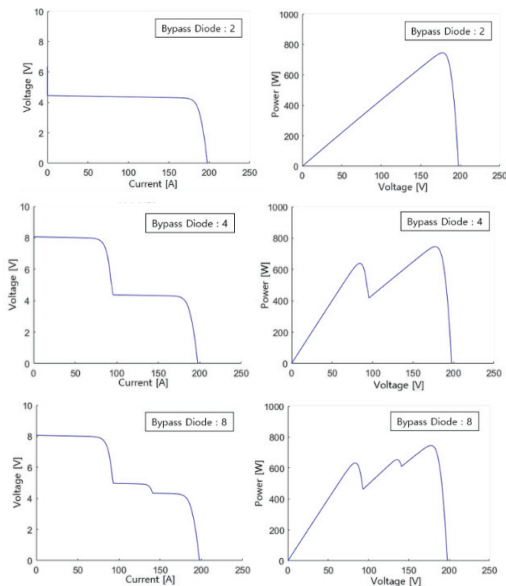


Fig. 5. (a)(b)(c)에 대한 각각의 I-V그래프와 P-V그래프.

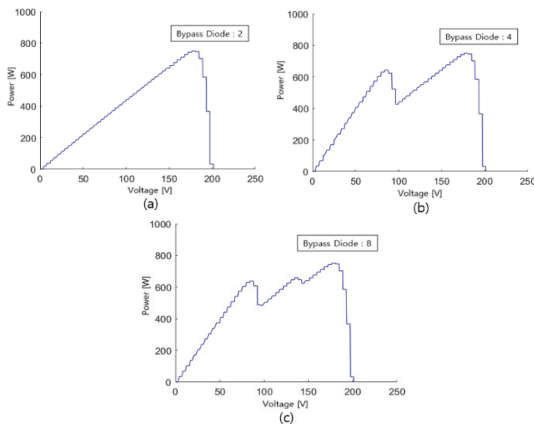


Fig. 6. (a)(b)(c)에 대한 각각의 P&O그래프.

5. 결론

본 논문에서는 현재 태양전지에 사용되는 바이패스 다이오드와 출력에너지의 관계에 대해 알아보고 현재의 출력에너지를 개선하기위해 모듈과 바이패스 다이오드의 개수와 배치에 변화를 제시하였다. 바이패스 다이오드는 모듈에 음영이 생겼을 때 그 에너지를 역전압으로 다음 모듈로 이동시켜준다. 4*2패널을 구성하여 음영 환경을 구성해주고 다이오드 개수와 배치를 다르게 하였을 때 바이패스 다이오드가 많을수록 출력에너지 손실을 막을 수 있었다. 하지만 다이오드가 많을수록 다이오드를 작동시키는 전류가 많이 흐르기 때문에 음영에 의한 출력 에너지 손실과 다이오드를 작동시킬 때 사용되는 전류의 양을 비교하여 다이오드의 개수를 정해야 한다. 실험을 했던 4*2 패널에서는 그 변화가 매우 작아 전력의 차이를 찾을 수 없었다. Matlab/Simulink를 통해 결과를 얻었고 다이오드가 많이 배치할수록 값을 도출하는데 시간이 조금 더 들었지만 출력 손실이 적어지는 결과를 확인했다. 이로써 본 논문에서 제시한 바이패스 다이오드의 개수와 배치 변화를 통한 더욱 효율적인 출력 구조를 입증하였다.

감사의 글

This work was supported by the international Science & Business Belt support program, through the Korea Innovation Foundation funded by the Ministry of Science and ICT.

참고문헌

- Villalva M.G., Gazoli J.R., Filho E.R., "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.

- 24, pp. 1198-1208, 2009.
2. J. H. Choi, S. C. Roh, and H. I. Seo, "A Study on Application of Ag Nano-Dots and Silicon Nitride Film for Improving the Light Trapping in Mono-crystalline Silicon Solar Cell," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 18, pp. 12-17, 2014
 3. Y. T. Yoon, E. S. Cho, and S. J. Kwon, "A Study on the Effect of Process Pressure on AZO Thin Films Sputtered for the Windows Layers of CIGS Solar Cells," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 16, pp. 89-93, 2014
 4. Jeong J.Y., Choi S.S., Choi H.Y., Ryu S.W., Lee I.C., Rho D.S., "A study on the Optimal Configuration Algorithm for Modeling and Improving the Performance of PV module," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, pp. 723-730, 2016
 5. Choi J.S., Ko J.S., Chung D.H., "Development of Improved P&O Algorithm of PV System Considering Insolation variation," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.24, pp.166-176, 2010
 6. Tian Y., Xia B., Sun W., Xu Z., Zheng W., "Modeling and global maximum power point tracking for photovoltaic system under partial shading conditions using modified particle swarm optimization algorithm," *Journal of renewable and sustainable energy* 6 ,pp.1-16,2014
 7. Patel H., Agarwal V., "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics," *IEEE transactions on energy conversion*, vol. 23, pp.302-310, 2008
 8. Ko S.W., Ju Y.C., So J.H., Hwang H.M., Jung Y.S., Kang G.H., "The Characteristics of PV module under the Partial Shading Condition and with a Failure of Bypass Diode with Short," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 36, pp.41-47,2016
 9. Shim J.H., Yang S.D., Jung S.H., Choi J.Y., Choy I., An J.U., Lee D.H., "Analysis of various MPPT algorithms for PCS," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.31, pp.16-21, 2011
 10. Argyrou M.C., Christodoulides P., Kalogirou S.A. , "Modeling of a photovoltaic system with different MPPT techniques using MATLAB/Simulink," *IEEE International Energy Conference*, 2018
 11. Joseph A., Kamala J., "PV Array Characteristics Analysis Under Partial Shading & Modeling of P&O MPPT Applied Boost Convertor Using Matlab /Simulink," *international Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, 2013
 12. Bellia H., Youcef R., Fatima M., "A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB," *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, pp.53-61, 2014
 13. Li H., Yang D., Su W., Lu J., Yu X., "An Overall Distribution Particle Swarm Optimization MPPT Algorithm for Photovoltaic System Under Partial Shading," *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 66, pp. 265-275, 2019
 14. Zebiri M., Mediouni M., Idadoub H., "Modeling and simulation of the shading effect on the performance of a photovoltaic module in the presence of the bypass diode," *E3S Web Conferences*, Vol. 37, pp.1-7, 2018

접수일: 2022년 3월 10일, 심사일: 2022년 3월 18일,
 게재확정일: 2022년 3월 25일