

음영문제에 대한 해결방안



글 _ 이 현 화 (회원 No.8532)
(주)한빛디엔에스 대표이사/공학박사, 기술사

◆ 9월호부터 연재된 내용입니다.

4. 모듈의 연결과 음영변화

PV 어레이에서 음영의 영향은 첫째 음영이 발생하는 모듈 수는 얼마인가? 둘째는 셀과 바이패스 다이오드의 연결 상태, 세 번째 음영의 농도와 공간적 분포 및 시간대 별 음영 경로가 원인을 제공한다. 그러나 본 연구에서는 PV 어레이의 출력변화에 영향을 주는 음영의 영향이 PV 어레이의 연결방법과 그의 배치상태를 개선하면 어느 정도 감감시킬 수 있을 것으로 생각하고 있다. 이미 2장 제2절에서 언급하였지만, PV 어레이의 설치 장소에 따라 광의 조사량이 발전수율의 변화와 감소를 예측시킬 수 있다.

그러나 아직 까지 고려하지 않는 것은, 최대 전력점(MPP)의 이동을 발생하게 하는 음영의 결과는 그림 2.9와 같은 PV 모듈의 특성곡선 변화이다. 또한 인버터의 동작점은 MPP를 추적하도록 되어 있으므로 음영 변화의 속성을 이해할 필요가 있다. MPP의 변화는 음영이 없는 PV 어레이와 관련하여 전력 감소를 나타낸다. 한편 인버터의 입력전압 범위에 따라 PV 모듈의 연결 방법은 결정된다. 따라서 높은 입력 전압을 갖는 직렬 인버터에서는 모든 모듈이 직렬로 가급 연결하기도 하지만, 만약 인버터가 낮은 입력전압을 갖는 인버터라고 하면 PV 모듈은 여러 개의 병렬 군으로 연결하여 이용될 수 있도록 되어있다.[1] 여기서는 총 20개의 모듈이 직렬로 연결된 PV 어레이와 4개의 모듈 스트링이 병렬 군으로 연결된 PV 어레이를 비교하여 설명한다.

광의 조사량이 $1000(\text{Wp}/\text{m}^2)$ 일 때, 음영 영향이 2개의 모듈 상에 $500(\text{Wp}/\text{m}^2)$ 의 조사량 감소로 나타날 때와 4개, 6개, 8개씩 모듈 상에 광의 조사량 감소를 음영으로 나타내어 예상 출력 변화를 생각해보았다. 이와 같은 모듈의 직렬연결에서 특

성곡선은 음영이 있는 모듈의 위치에 의존하지 않고 있으나, 병렬로 연결된 어레이는 서로 다른 음영의 위치에 따라 서로 다른 특성곡선을 보여주고 있다.[7]

그림 3.7(c)와 그림 3.8(c)를 살펴보면 음영을 갖는 어레이의 특성 전력곡선은 낮은 전압에서의 최대값과 약간 높은 전압에서 두 번째 최대값을 나타내고 있다. 그러나 이 중에서 뚜렷한 전력의 최대값을 어떻게 결정하느냐는 특성곡선 상에서 곡선이 약간 마주치거나 아니면 벗어나더라도 가령 MPP가 틀리거나 MPP가 떨어지더라도 모두 인버터의 추적범위 안에 있다면 최대값은 결정되어질 것이다. 음영이 있는 어레이에서 전력손실량은 인버터의 입력전압 범위와 인버터의 역량에 의존하지만 인버터의 MPP 추적 발상에 따라 결정적으로 의존한다. 그리하여 추적 구상과 시간에 의한 음영의 경로에 따라 태양광 발전 시스템은 이들 최대값 중의 하나에서 동작한다. 따라서 모듈의 직렬연결과 병렬연결 사이에는 근본적인 차이가 있다.

(1) 직렬(스트링) 연결

직렬로 연결된 모듈 중에서 한 개의 모듈에 음영이 생기면 광기전류는 감소하고, 그 전체의 직렬모듈의 광기전류는 영향을 받은 한 개의 모듈에 의해 광기전류는 감소한다. 따라서 직렬 연결된 모듈의 광기전류는 음영영향에 의해 감소된 특정한 모듈의 전류에 따라 결정된다. 그림 3.7은 모듈의 직렬 연결된 어레이에서 음영에 의한 MPP 변화를 보여 주고 있다.

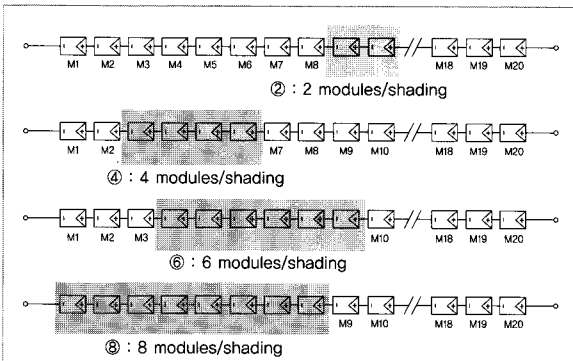
모듈의 직렬연결에 있어서 음영에 의한 두개의 최대 전력점이 인버터의 MPP 추적 범위 안에 있으면 인버터에 대한 동작

점으로 가능하다. 그림 3.7(b)의 특성곡선에서 나타나는 MPP의 두 점 중에 한 점으로 도달하는 것은 시간에 의한 음영 경로와 추적기의 동작 상태에 의존한다. 초기에 음영이 없는 어레이에서 인버터는 특성 곡선의 최대값에 있게 되어 있다. 그림 3.7(a)와 같이 어레이 표면상에 나타나는 음영의 단계적 확장은 다른 많은 모듈로의 음영을 증가시키는 요인이 된다. 어레이의 설계는 많은 연구가 필요하다.

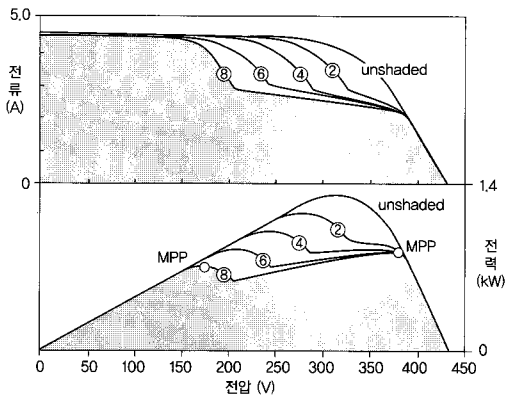
따라서 처음에 왼쪽에 있는 MPP의 최대값은 보다 낮은 전압측으로 이동한다. MPP의 최대값은 뚜렷한 값이므로 많은 수의 모듈이 음영이 되었을 때, 인버터는 우측의 MPP의 최대값이 틀리다고 할지라도 왼쪽의 최대값으로 남아있게 된다. 만약 오전 중에 어레이가 이미 음영이 되어 있으면, 즉 인버터가 스위칭되는 순간에 음영이 생긴 것이다. 따라서 인버터는 개방회로 전압으로부터 우측의 최대 전압까지 추적한다. MPP가 충분히 뚜렷하고 추적이동량이 그리 크지 않다면 인버터는 MPP가 어디에 위치하고 있는 간에 그 지점에 머무를 것이다. 그리고 전압은 음영이 없는 어레이보다 이 최대값에 있을 때 더 크다.

(2) 모듈의 병렬 연결

그림 3.8과 같이 모듈의 병렬연결로 보여준 음영의 수직위치는 완전히 다른 특성곡선을 나타내고 있다. 어레이의 가장 바람직한 동작은 음영이 있는 모듈이 같은 스트링 또는 적은 수의 같은 스트링에 걸쳐 있는 경우에 이루어진다. 여기서 왼쪽의 최대 전력점(MPP)은 PV 어레이의 개방 회로 전압에서 중간 또는 중간 아래에 있게 되며, 인버터의 추적 범위 밖에 있게 된다. 따라서 인버터가 오른쪽의 최대값을 따라 확실하게 추적하는 일은 없다. 이것이 MPP를 나타낸다. 그림 3.9와 같이 음영의 스트링 수를 증가하면 왼쪽의 전력 최대값은 뚜렷하게 나타난다. 음영의 농도가 보다 심하면, 최대 전력점(MPP)은 이곳에 위치할 수밖에 없다. 왼쪽의 전력 최대값은 어레이의 개방회로 전압의 중간에 놓이게 되며, 인버터의 동작 범위에 놓이게 된다. 우측의 전력 최대값은 음영이 없는 어레이의 MPP 전압보다 상위 점에 놓일 것이다.

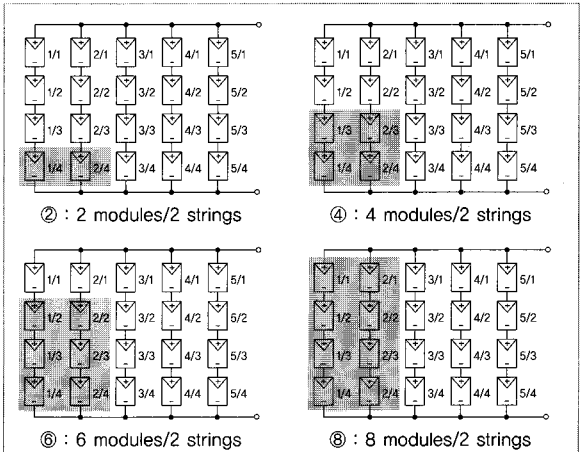


(a) 음영 상태

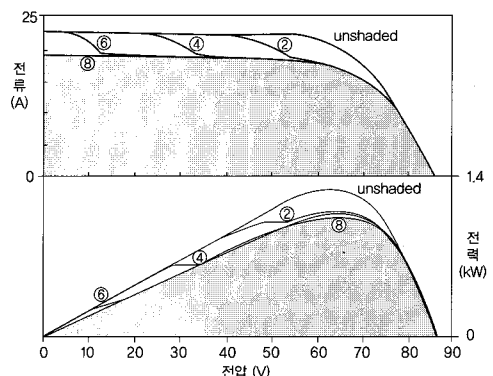


(b) 어레이 출력특성

【그림 3.7】 직렬연결에서 음영의 상태와 특성곡선[1]

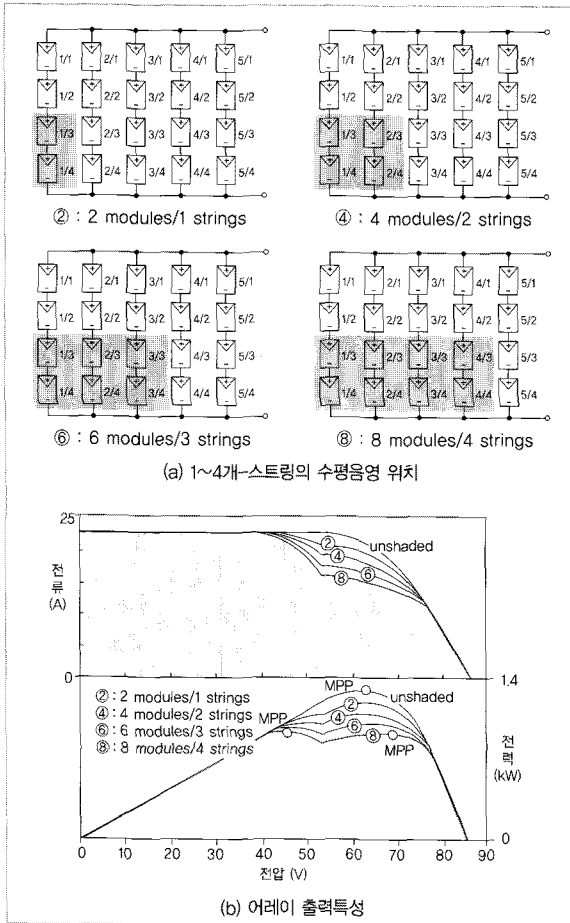


(a) 2개의 스트링 상에 음영위치



(b) 어레이 출력특성

【그림 3.8】 2-스트링의 음영과 병렬연결에서 음영의 상태와 특성곡선[1]



[그림 3.9] 1~4-스트링의 수평음영과 병렬연결에서 음영의 상태와 특성곡선[1]

5. 음영 문제에 대한 해결방안

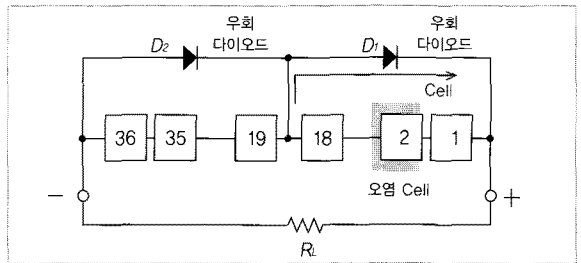
음영의 문제를 해결하는 방법은 크게 2가지 형태가 있다. 태양광 발전 시스템에 그의 영향을 최소화하기 위해 음영의 근원을 제거하는 방법과 피할 수 없다면 어레이의 설계에 의해서 음영의 영향이 최소화되도록 설치하는 방법이 있다.

첫째 음영의 원인을 제거하기 위해 나무와 같은 장애물은 제거하고 위성안테나 또는 인공 구조물들은 다른 곳으로 옮겨서 설치한다. 따라서 어레이위에 새의 배설물이 직접 떨어지지 않도록 PV 어레이 주변에 불필요한 나뭇가지가 있는가를 확인한다. 아울러 통신 케이블은 경로를 변경하거나 매설하여야 한다. 둘째는 어레이의 설계에 의해서 음영의 영향이 최소화하도록 하는 것이다.

(1) 우회 다이오드에 의한 음영손실 제거

작은 음영 또는 낙엽 및 새들의 배설물 들은 실리콘 셀에 매

우 큰 영향을 주어 셀의 출력을 저하시킨다. 제2장 2절에서 언급하였듯이 우회 다이오드는 이런 영향을 최소화하고 열점의 손상을 피할 수 있다. 우회다이오드는 그림 3.10과 같이 셀의 스트링에 병렬로 연결한다. 이 다이오드는 영향을 받는 셀을 피하여 전류를 우회시킨다. 통상 상업적으로 이용되는 모듈에서는 최고 36개의 셀-스트링에서 2개의 우회 다이오드로 보호하고 있다. 우회 다이오드는 보통 모듈 단자함 내에 설치한다. 전체 모듈 스트링을 보호하는 다이오드는 PV 어레이의 단자함 내에 설치하기도 한다. 우회 다이오드는 음영의 영향이 최소화될 수 있는 모듈의 물리적인 위치를 가능하게 만든다.



[그림 3.10] 우회 다이오드를 설치한 모듈회로

(2) 음영영향의 최소화를 위한 인버터방식

만약 어레이에 부분 음영이 있으면 음영이 있는 모듈과 음영이 없는 모듈사이에 부정합(mismatching)의 이유로 중앙 집중식 인버터를 이용하는 것은 매우 문제가 많다. 만약 부분 음영을 피할 수 없는 경우에는 인버터가 최적 조건하에서 MPP 점을 찾기 때문에 몇 개의 단일 스트링을 사용한 인버터나 또는 그림 2.23(b)와 같은 다중 스트링 인버터를 사용하는 것이 바람직하다.

(3) 모듈의 최적배치에 의한 음영문제의 해법

모듈의 배치 방식은 일반적으로 수직으로 배열하는 방식보다 수평으로 배열 하게 되어 있다. 만약 그림 3.11(a)와 같이 수직으로 배치하게 되면 그로 인하여 모듈 1장에서 4개의 스트링 전체가 음영손실이 발생하게 된다. 따라서 모듈을 그림 3.11(b)와 같이 수평으로 배치하게 되면 음영의 손실이 거의 반(1/2)으로 감소할 수 있다. 그림 3.11(a)와 같은 배치는 최악의 배치 상태로 가능한 피해야만 한다. 그러나 모듈의 물리적인 위치를 적절한 배치로 하였으나 음영의 영향을 피할 수 없는 곳은 적절한 스트링 구성과 여러 개의 스트링 인버터를 사용한다. 모듈의 스트링 구성과 음영을 고찰해 볼 때, 몇 가지 예를 들어 설명한다.

첫 째로 그림 3.12(a)와 같은 지붕을 가로지르는 수직그림자는 어레이의 남쪽에 위치한 공장의 굴뚝과 같은 것으로서 낮에는 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이는 농도가 낮은 수직 음영을 발생시킨다. 따라서 모듈의 배치는 그림 3.12(a)처럼 한 개의 스트링에 각각 8개의 모듈로 그리고 6개의 스트링 어레이로 구성하면 음영은 각각 한 개의 스트링에만 영향을 끼친다.

두 번째 예는 아침과 오후 늦게 측면에 발생하는 음영으로서, 그림 3.12(b)와 같이 아침의 삼각형 모양의 음영은 어레이의 남쪽과 왼쪽 끝에 있는 이웃 건물에 의해서 생기는 것이다. 또한 오후 늦은 저녁 시작시간에 동쪽에 있는 이웃 건물에 의해서 어레이의 오른쪽에는 비슷한 음영이 또 생긴다고 하면 그림

3.12(b)와 같이 모듈을 배치한다. 그림에서는 한 개의 스트링에 각각 6개의 모듈로 그리고 8개의 스트링 어레이를 비대칭으로 구성하면 음영은 적은 수의 스트링에만 영향을 끼친다.

S1	S1	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5	S6	S6
S1	S1	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5	S6	S6
S1	S1	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5	S6	S6
S1	S1	S2	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5	S6	S6

(a)

S1	S2	S3	S3	S4	S4	S5	S5	S6	S6	S7	S7
S1	S2	S2	S3	S4	S4	S5	S5	S6	S7	S7	S8
S1	S1	S2	S3	S3	S4	S5	S6	S6	S7	S8	S8
S1	S1	S2	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S8	S8

(b)

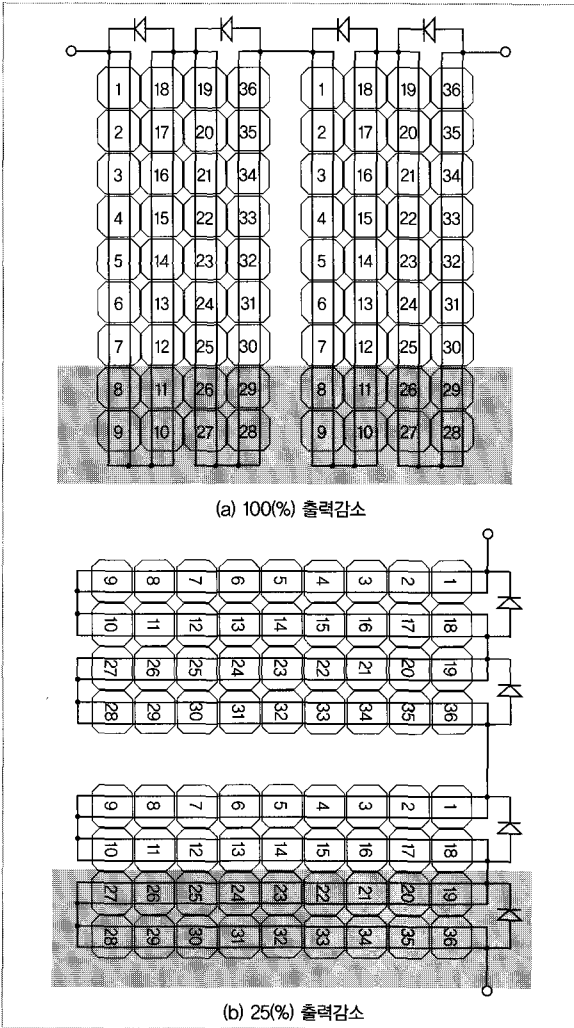
【그림 3.12】 수직방향 음영과 좌우측면의 음영인 경우 모듈의 최적배치[5]

(4) 음영영향의 경감을 위한 모듈의 설치

어레이의 모듈들은 평지 또는 건물 지붕평면에서 수평으로 정렬하여 설치할 경우, 공간적 또는 기하학적 관계를 고려하면 음영의 영향을 경감시킬 수 있다. 따라서 모듈들의 수평 정렬에서 충분한 공간을 확보해야하며, 모듈들을 평지에 설치할 때에는 모듈의 높이를 충분히 높이면 나무나 풀의 성장으로부터 음영발생을 피할 수 있고, 우기 때에 모듈의 바닥이 진흙으로 오염되는 것을 피할 수 있다. 특히 눈이 많이 오는 지역에서는 모듈 평면에 쌓이는 눈이 미끄러져 내려 바닥에 쌓이면 음영이 생겨 모듈에 영향을 미치게 된다.

평지에 설치된 어레이에 있어서 랜드스케이프(landscape) 형식으로 설치된 모듈의 행렬은 그의 높이가 높지 않기 때문에 수직(portrait)형식으로 설치된 모듈들의 행렬보다 평지사이의 거리는 좀 더 적은 공간을 요구하고 있다. 따라서 모듈의 행렬 당 모듈들의 숫자는 적으면서 경사진 모듈들의 행렬 또한 이격거리를 작게 할 수 있다. 만약 평지가 제한된 공간이라면 더 많은 모듈을 설치하기 위해서 경사각을 주어 설치할 수 있다. 개별 행렬 어레이의 모듈 출력은 약간 작어지지만 전체 어레이의 출력은 모듈의 숫자가 늘어나기 때문에 증가한다. 또한 PV 어레이의 설치를 위한 장소는 그 지역의 위도에 대해서도 고려해야 한다.

실제 음영에 대한 PV 어레이 출력의 예측은 전용 프로그램 도구를 다루는 설계자도 매우 까다로운 일이다. PV 어레이의 프로그램에 음영 어레이의 데이터를 입력하는 시간이 많이 필요하고, 관련 오차도 감안해야 하기 때문이다.



【그림 3.11】 모듈배치에 따른 음영의 출력저하(우회 다이오드 참조) [5]