

PV 어레이의 음영문제



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

◆ 9월호부터 연재된 내용입니다.

1. 음영의 문제

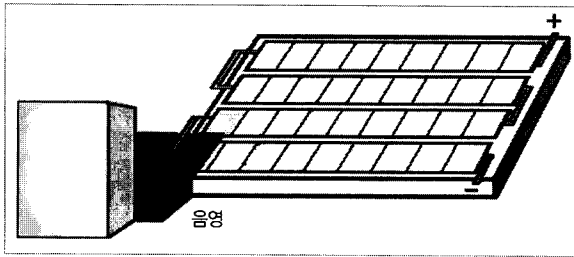
일반적으로 모듈에서의 음영은 어떤 경우라도 없어야 하지만 순환적으로 가끔 발생하는 음영은 태양광 발전의 출력을 저하시킨다. 이 장에서는 음영이 왜 문제를 일으키며, 또 그것을 어떻게 피해야 할 것인가, 무엇으로 그 영향을 저감시킬 수 있는가를 설명한다. 보통 PV 어레이의 설치 방향은 연간 태양궤적에 비추어 볼 때 지구 북반구에서의 남향으로, 남반구에서는 북향으로 설치하는 것이 바람직하다고 추론할 수 있다. 이 방향은 PV 어레이의 표면이 가능한 긴 일조 시간에 노출될 수 있는 조건을 제공한다. PV 어레이의 설치 경사 각도는 태양광선이 PV 어레이의 표면에 직각으로 입사할 때, 광선의 밀도가 가장 크므로 최대의 전력량을 얻을 수 있다.

그러나 태양의 고도와 방위각은 계절별로 달라져 수평면에 조사되는 입사 각도도 변화하므로 태양 추적형으로 설치될 경우에는 항상 PV 어레이의 표면이 태양을 향하게 하여 태양광선의 입사 각도를 직각으로 유지시킬 수 있다. 또한 설치각도를 고정하여 설치할 경우에는 연간 가장 많은 에너지를 얻을 수 있는 경사각도로 설치하는 것이 바람직하므로 이를 위해서는 그 지역에서 측정된 다년간의 일사량 자료의 분석이 선행된 후 설치 각도 및 방향 설정이 이루어져야 한다. 태양전지의

특성상 직사광선이 조사될 때 변환 효율이 가장 좋고, PV 어레이는 여러 장의 PV 모듈을 직-병렬로 연결하여 만들어졌기 때문에 PV 어레이 표면의 전부 또는 일부에 음영이 생겨 직사광선이 방해받을 경우, 전력 획득에 상당한 악영향을 미치게 된다. 따라서 가장 일사조건이 좋은 시간대에서, PV 어레이의 설치장소 주변에 있는 나무나 건물 또는 PV 어레이 자체에 의해 어레이 표면에는 음영이 생기지 않도록 계획되어야 한다.

음영분석에 있어서 바람직한 방법은 PV 어레이를 남쪽을 향하게 하고, 동절기의 태양광이 가장 낮은 날 동지 때에 10시부터 15시 사이를 기준으로 하여 음영에 대한 계산과 분석을 한다. 만약 그림 3.1과 같이 PV 모듈에 음영을 피할 수가 없다면, 음영의 영향이 최소화 되도록 어레이의 최적 설계를 시도한다. 실제 음영은 태양과 함께 움직이기 때문에 복잡할 것 같지만 태양과 음영의 움직임은 예측할 수 있다.

그러나 무엇보다도 음영을 피할 수 없게 하는 이유는 음영이 부분적으로 서로 다른 높이로 존재한다든지, 어레이의 크기와 설치 간격이 제한을 받으면 최적 설계가 어렵다. 따라서 음영을 피할 수가 없다면, 모듈의 배치 방법과 스트링의 구성을 신중하게 고려할 필요가 있다. 실제에 있어서 음영의 문제와 PV 어레이의 설계는 많은 연구가 필요하다.



【그림 3.1】 표준 PV 모듈 상에 음영이 있는 셀

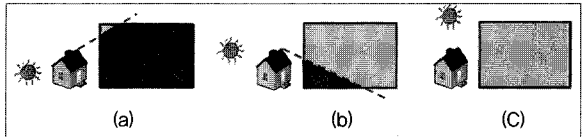
음영은 왜 그렇게 중요 한가. 그것은 태양전지에 음영이 존재 하면 이 셀은 더 이상 전류가 흐르지 않을 것이며 차단 다이오드와 같이 작용하고, 직렬로 연결된 다른 셀에도 전류가 흐르지 않는다. 이미 제2장 2절 그림 2.8에서 설명하였지만 직렬로 연결된 다른 셀들의 전압의 합에 의해 문제가 발생되고, 음영이 있는 셀-다이오드의 파괴전압 보다 더 큰 전압이 공급되어 셀-다이오드가 파괴되면 셀은 가열되고 모듈은 지속적으로 나쁜 영향을 미치게 된다. 이것을 열점효과라고 한다.

셀 전류는 셀에 입사되는 태양광의 강도에 따라 결정되기 때문에 태양전지가 직렬로 연결되었을 경우, 직렬 스트링에 있는 셀의 최저 전류가 셀의 직렬 구성에 의해 셀 스트링의 전류는 최저 전류로 나타낸다. 따라서 단일 셀에서 발생한 음영의 영향은 직렬로 구성된 다른 모든 셀에 의해 만들어진 전류를 감소시킨다. 마찬가지로 직렬로 구성된 모듈에 있어서도 음영에 의해 생기는 최저전류는 모듈의 전체 스트링 전류에 영향을 주어 모듈 출력을 결정한다. 즉, 한 개의 셀에 의해 발생하는 음영문제는 셀의 출력은 물론 모듈의 출력과 전체 어레이의 출력에 영향을 끼치어 출력을 감소시킨다.

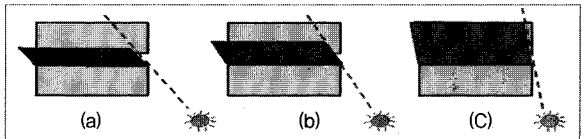
태양광발전 시스템에서는 건축물, 구름의 이동, 수목, 및 인공 구조물 등의 음영과 PV 어레이의 위치 설계 잘못으로 어레이의 전면과 후방 부분의 간격이 불충분하면 음영에 의한 전력 손실이 발생한다. 또한 우리나라의 동절기는 태양의 남중 고도가 낮아지는데 시간적으로 정오시의 태양고도는 29~31° 정도로 낮아지므로 해가 뜨거나 질 때, 태양광 발전소 위치 부근에 산이나 건물 또는 전면에 위치한 어레이에 의해 오후 2~3시부터 해가 지는 어두워질 때까지이거나 해가 동쪽에서 떠오르면서 낮은 고도를 유지하면 그림 3.2나 그림 3.3과 같이 어레이에 음영을 발생할 수 있다.

이 때 음영의 패턴을 보면 구름의 이동에 의해 모듈의 일부 위치에서 음영이 생기는 경우와 장소의 제약으로 산 또는 건물

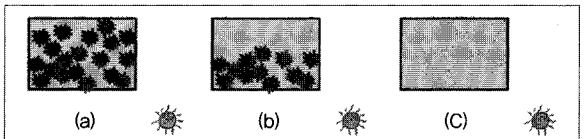
에 의해서 해가 뜰 때에는 동쪽에서서쪽으로 향하는 음영 패턴과 해가 질 때에는 서쪽에서 동쪽과 남쪽으로 늘어뜨리는 음영의 패턴이 있다. 또한 설계의 오류로 인하여 어레이의 전방과 후방 부분에 음영을 발생하게 하며 또한 사소한 인공 구조물이나 전주 등의 음영 패턴도 문제이지만 그림 3.4와 같이 눈에 의한 음영 패턴도 무시할 수 없는 영향을 나타낸다.



【그림 3.2】 건물 그림자 변화, 아침(a), 오전(b), 정오(c)



【그림 3.3】 동지 때 어레이 간의 그림자 변화. 오후 3시30분(a) 오후 4시(b) 오후 5시(c)



【그림 3.4】 눈에 의한 음영 변화. 아침(a) 정오(b) 오후(c)

2. 음영의 종류

대용량 시스템에서 음영부분 연간 약 5~10%정도의 효율에 영향을 미친다. 음영의 종류로는 일시적 음영, 설치 장소에 따른 음영 건물에 의한 음영 등이 있다.

(1) 일시적이고 간헐적인 음영

일시적인 음영으로는 눈, 가을의 낙엽, 새의 배설물 및 황사에 의한 오염이다. 공업지역에서 먼지와 공장 굴뚝의 매연 또는 수풀지역의 낙엽도 고려해야 할 대상이다. 눈, 매연 및 나뭇잎은 어레이에 누적 될 수 있으며, 더럽혀 질수 있다. 더럽혀짐은 PV 모듈의 자정능력을 저감한다.

그러나 어레이가 비에 의해서 정기적으로 깨끗이 된다면, 대부분의 이런 오염물질은 깨끗해진다. 따라서 경사각이 15° 이상 일 때 좋으며 경사각이 크면 클수록 비나 눈의 흐름이 빨라져 먼지 등의 오염 물질을 빠르게 씻어 내린다. 그러나 모듈의 모

서리나 설치 구조물은 오염물질의 흐름에 방해가 될 수 있으며, 모듈 프레임의 낮은 모서리 상에 가늘고 긴 오염물질이 누적되어지면 지속적인 음영으로 작용할 수 있다.

또한 건조 기간이 긴 지역에서는 오염의 층이 모듈에 누적될 수 있다. 그러므로 간헐적인 음영은 PV 모듈의 경사각을 증가 시킴으로서 저감 할 수 있다. 우리나라에서 경사 고정식의 최적 경사각은 28°36'이지만 북쪽 지방 강원도 등 눈이 많이 내리는 지역에서는 눈에 의한 음영이 발생할 수 있다. PV 모듈상의 눈은 다른 주변보다 빨리 녹으므로 눈은 모듈 표면에서 잘 미끄러져 내려간다. 일반적으로 어떤 경우이든지 북쪽 지역에서는 어레이 경사각을 크게 설치할 필요가 있다.

(2) 설치 장소에 따라 발생하는 반복적인 음영

설치장소에 의해 반복적으로 생기는 음영은 PV 어레이에서 대부분의 음영에 해당된다. 도시나 거주지에 위치한 태양광 발전시스템에서는 건물 때문에 생기는 음영의 결과가 직접적인 음영을 유발하며 중요하게 검토되어야 한다. 특히, 굴뚝 또는 안테나, 피뢰침, 위성안테나, 지붕 및 건물 전면 돌출부 건물 구조에 의한 부분 등은 반복적인 음영을 유발시킨다.

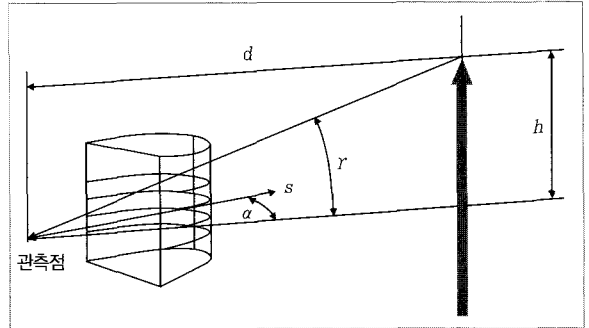
따라서 PV 어레이 설계 시에는 송-수전용 전주나 보안등과 보안 울타리, 감시용 CCTV의 기둥, 피뢰침용 지지대 등을 고려하여 어레이의 높이 및 이격거리를 잘 선정하여야 한다.

또한 가공 전력선과 통신선로가 높게 설치되어 있거나 여러 가닥 아니면 두꺼운 전력선으로 모듈 가까이 설치되어 있으면 이러한 선로들이 음영의 간접적인 원인이 될 수 있다. 이런 형태의 대상물들은 농도가 낮은 음영이 되지만 PV 어레이 전체에 걸쳐서 움직이므로 모듈의 배치를 신중히 결정한다. 아무리 멀리 떨어져 있는 좌우의 산이나 건물 옆의 수목들도 PV 어레이에 음영을 만들고 수평적인 어둠을 만들기 때문에 PV 어레이의 효율을 저하시킬 수 있다. PV 어레이와 어레이의 이격거리의 미비로 인한 음영 등 피할 수 없는 경우에는 PV 어레이의 모듈 결선방식을 병렬 네트워킹 방식으로 어레이를 구성함으로써 전력 손실을 최소화 시키는 것도 한 방법이다.

3. 음영의 분석

음영의 분석은 PV 어레이의 설치 위치에 대한 음영결과를 평가하기 위해 반드시 실행되어야 한다. PV 어레이 주변의 음영 윤곽은 보통 PV 모듈로 구성된 어레이의 한 점에서 측정된다. 106(Wp)급의 용량이 대 규모인 경우 또는 정확성이 요구되

는 경우에는 음영의 분석을 여러 점에서 반복 수행하여 전력편차를 최소화 하여야 하며, 어레이 주변의 음영 윤곽은 그림 3.5와 같은 음영 분석 투영기를 이용하여



【그림 3.5】 투영기 상에 태양의 경로를 관측하여 태양의 상승각과 방위각을 결정

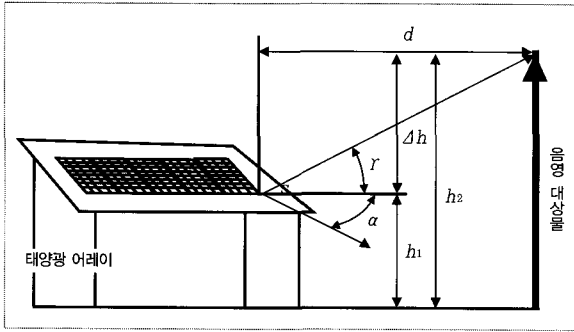
어레이 설치 위치에서 태양의 이동 추적 다이어그램을 기록하고 이 기록에 따라 음영을 발생시키는 대상물의 거리와 크기를 계산 하여 분석한다. 한 예로 그림 3.6에서 상승각 (α)는 음영 대상물의 높이 (h2)와 PV 어레이의 높이 (h1)의 차를 대상물의 거리 (d)로 나누면 식 (3-1)과 같이 얻을 수 있다.

$$\tan r = \frac{h_2 - h_1}{d} \rightarrow r = \arctan \left(\frac{h_2 - h_1}{d} \right) = \arctan \left(\frac{\Delta h}{d} \right) \quad (3-1)$$

또한 PV 어레이의 주변 지역에 있는 모든 장애물에 대하여 위상각을 계산하여 방위각 (α)를 구할 수 있는데 이는 대상물의 높이와 정해진 관측 지점으로 부터의 거리를 필요로 한다. 장애물의 방위는 지역 계획도 또는 스케치로 즉시 계산할 수 있으며, 대상물의 위상각 및 방위각은 적절한 카메라나 소프트웨어가 내장된 디지털 카메라를 이용한 음영 분석기로 결정할 수 있다. 그러나 대부분의 경우에는 높이의 축을 갖는 태양 이동 다이어그램으로 삼각법이면 충분하다.

이 방법은 투명도에 복사되고 반원으로 정리하면 되므로 PV 어레이에서 관측하는 관찰자는 이 다이어그램을 통해서 대상물을 보며 즉시 읽을 수 있고 방위각 및 위상각을 기록할 수 있다.

따라서 보다 큰 시각을 얻기 위해서는 어안 렌즈와 같은 광각 렌즈가 있으면 유용하다. 이렇게 음영분석 보조기는 주기적으로 나타나는 음영의 나타날 위치를 좀 더 용이하게 예측할 수 있으며, 이와 같은 음영분석은 여러 위치에서 만들어져야 한다. 음영분석 결과는 태양 이동 다이어그램에서 보면서 어레이



【그림 3.6】 대상물의 위상각과 방위각 결정

이 주변에서 일어나는 음영의 윤곽이라고 할 수 있다. 최근에는 어레이의 음영분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션이 실행되고 있으며, 음영의 분석이 가능한 다양한 소프트웨어 도구를 이용할 수 있다. 대부분의 어레이 설계 시뮬레이션 프로그램은 조사(광량) 손실을 계산하면서 수율 손실을 대략적으로 계산한다. 음영의 요점은 PV 어레이의 한 점에서 결정하지만 보통 중심점에서 결정하고, 그의 정밀도는 다양한 어레이 설계에서 충분히 적용될 수 있다. PV 어레이의 위치와 모듈 결선 방법은 보다 복잡한 시뮬레이션 프로그램을 이용해야 한다. 만약 소프트웨어가 없다면, 총 조사량은 설치 위치에 따라 월별 자료가 필요하며, 이는 태양 이동 다이어그램인 음영의 (%)비율에서 추정할 수 있는 특정한 달의 조사 손실을 참조하게 된다.◆

