

## 영상센서를 이용한 PV모듈의 표면 오염도 검출

김석기\*

한국에너지기술연구원\*

### Detection of Surface Contamination of Photovoltaic Module Using Image Sensor

Seok-Ki Kim\*

Korean Institute of Energy Research\*

**Abstract** - 본 논문에서는 태양전지 모듈의 표면 오염으로 인한 태양광발전량의 감소를 사전 예방하기 위해 영상기술을 이용한 표면 오염도 자동검출 기술에 대해 논의하였다. 일반적인 태양광발전시스템의 경우 태양전지 모듈의 표면 오염원 제거를 위해 사람에 의한 수동적인 방법에 의존하는 것이 현실이나, 커다란 규모의 태양광 발전시설의 경우는 인력으로 오염원을 제거하는 것은 거의 불가능하다. 이러한 관점에서 태양전지 모듈 표면에 떨어진 오염 물질로 인한 출력감소를 사전에 예방하고, 시스템을 효율적으로 운영하기 위해 이미지 영상기술이 적용되었다. 본 기술은 기본적으로 레이저 광원과 먼지와 상호 interaction을 통해 생성된 반사파 및 이를 CCD 영상으로 획득하고 태양전지 모듈 표면의 오염원의 유무, 균일/불균일 분포 등의 3가지 서로 다른 조건을 설정하여 비교 시험을 수행하였고, 개발된 오염측정 시스템을 수상 태양광발전 파일럿 설비에 적용하여 운전성능을 검증하였다.

#### 1. 서 론

전 세계적으로 에너지 자원의 고갈과 지구온난화의 가속화로 인한 환경문제 등의 해결방안으로 1980년 이후 신재생에너지에 대한 연구개발이 활발히 진행되어 오고 있다. 태양광발전시스템의 발전특성은 태양에너지 일사량, 태양전지 모듈의 배면온도, 그림자 및 대기 중에 떠도는 오염물질(먼지, 조류배설물, 황사 등)의 영향으로 발전효율이 감소하는데, 이를 해결하기 위해서는 물리적 제거가 가능한 태양전지 모듈 표면의 오염원 제거한다든지 모듈 배면온도의 낮추는 것을 들 수 있다.

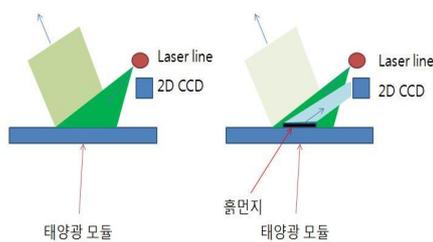
하지만, 옥외환경에 설치된 태양광발전설비의 모듈 표면 오염원 제거를 위해서 사람에 의한 수동적 방법에 의존할 수 밖에 없는 것이 현실이고, 대규모의 발전설비를 인력으로 오염원을 제거한다는 것은 한계성을 갖고 있다. 이러한 관점을 고려하여 태양전지 모듈 표면에 떨어진 오염물질로 인한 출력감소를 사전 예방하고, 발전효율 개선이 가능하도록 운영할 필요가 있다.

본 논문에서는 태양전지 모듈 표면에 떨어진 오염 물질로 인한 출력감소의 최소화를 위한 해결방안으로 광학설계, 광학분석에 의한 전력밀도 분석 및 영상처리 알고리즘 개발 등의 영상기술을 적용하였다. 레이저 광원과 먼지와 상호 interaction을 통해 생성된 반사파 및 이를 CCD 영상으로 획득한 이미지를 분석을 통해 성능검증을 고찰하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 기술의 개념

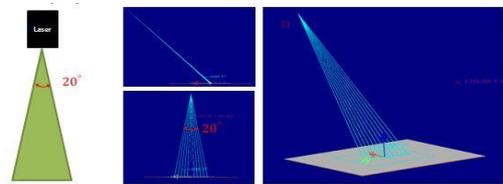
측정기술은 태양전지 모듈의 표면에 일정한 각도로 레이저 광선(Laser Line)을 조사하여 반사된 빛에너지를 2차원 CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 이용하여 영상 이미지를 저장하고, 얻어진 데이터를 영상처리를 통해서 전기신호로 변환함으로써 태양전지 모듈의 표면 오염 정도를 자동으로 측정 제어하는 기술이다. <그림 1>은 태양전지 모듈의 표면 오염 측정 개념도이다.



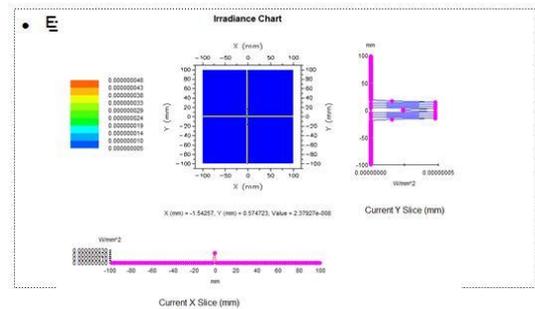
<그림 1> 태양전지 모듈의 표면 오염 측정 개념도

##### 2.2 광학 설계

태양전지 모듈에 존재하는 이물질을 검출하기 위해서, 레이저 광원과 CCD 카메라의 상대적인 최적 위치 선정을 위해 광학특성 분석 하였다. 532nm 파장을 20° 조사 범위를 가지는 Nd:YAG 레이저 광원을 태양전지 모듈의 전면에 수직으로 Z 거리에서  $\theta$  만큼 기울어지게 조사할 경우와 태양전지 모듈을 수직 또는 기울어지게 CCD 카메라를 배치할 경우, 반사되는 광량을 ray tracing 기법이 적용된 software를 통해 분석 하였다.

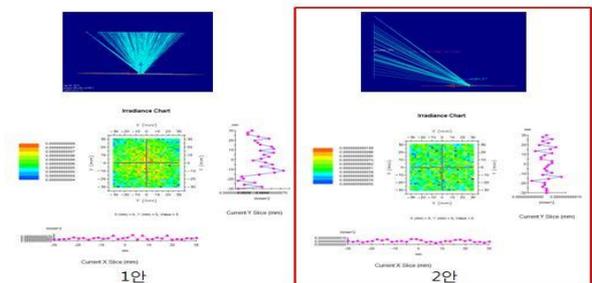


<그림 2> 레이저 광원 및 CCD 카메라 배치 최적화를 위한 ray tracing 분석

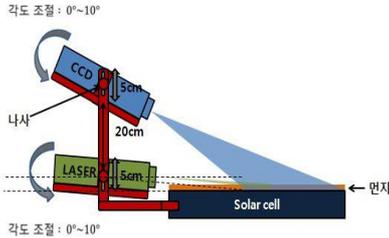


<그림 3> 광학분석에 사용된 레이저 광원의 Power density distribution

레이저 광원을 비스듬하게 조사하고 CCD 카메라를 태양광 모듈 수직 위에 배치시키는 1안과 동일한 레이저 광원에 대해서 CCD 카메라를 레이저와 동일한 수평거리에 배치시키는 2안에 대해서 ray tracing 분석을 한 결과 1안이 CCD에 획득되는 광량이 많았으나, 먼지 두께에 대한 분해능이 상대적으로 적었다. 한편 2안은 CCD에 획득되는 광량은 1안 대비 적었으나 먼지 두께에 대한 분해능이 커서 개발 목표에 부합되는 것으로 판단되어 최종적으로 2안으로 선정하였다.



<그림 4> 레이저 광원의 Power Density 분포



〈그림 5〉 레이저 광원 및 CCD 카메라 배치 최종 선정 및 구성도

### 2.3 먼지 두께측정을 위한 영상처리 알고리즘 개발

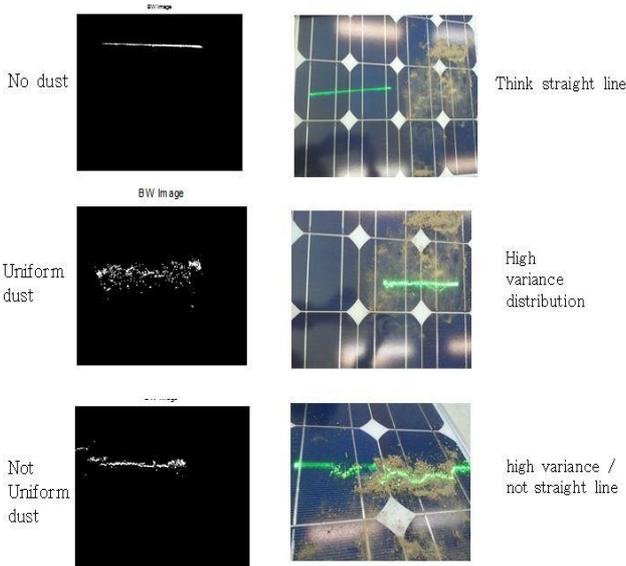
대기중에 부유하던 오염물질(먼지, 조류배설물, 황사 등)들은 시간이 지남에 따라 표면에 가라앉게 되는데, 특히, 태양전지 모듈의 표면에 떨어진 입자들은 발전성능을 감소시키는 원인으로 작용한다. 이런 표면에 떨어진 오염 물질로 인한 출력감소의 원인분석을 위해 영상 알고리즘이 개발되었다. 레이저 광원과 먼지와 상호 interaction을 통해 생성된 반사파 및 이를 CCD 영상으로 획득한 이미지를 먼지가 없는 경우, 비교적 균일한 먼지가 있는 경우, 불규칙 먼지가 있는 경우의 3개 영역으로 상황을 설정하여 CCD 카메라에서 획득한 영상을 분석하였다. 그 결과, 먼지가 없는 영상을 reference로 할 경우 대비해서 계산된 분산(variance) 지수가 효과적으로 먼지의 두께 및 형상을 대변할 수 있음을 확인하였고, 이에 먼지 측정 인덱스를 다음과 같이 설정하였다.

- ① 먼지 측정 score
- ② 이미지 WxH 크기
- ③ High score => High dust distribution

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{j=1}^H (Y_{i,j})}{N_i}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{Y}_i - Y_{ref,i})^2}{N}$$

$$score = (\sigma^2)$$



〈그림 6〉 먼지 형태별 CCD 카메라가 획득한 영상이미지

먼지 기준이 되는 Reference 상황에 대해서 Yref 및 먼지 인덱스를 계산하였다. 태양광 모듈을 먼지가 없는 깨끗한 상태로 만들고, 레이저를 조사하고 CCD카메라를 통해 영상을 획득한 결과가 그림 6(a)에 표시하였다. 이때  $Y_{ref} = 0.02993x + 183$ 으로 산출되었으며, 먼지 인덱스 score는 1.3672가 계산되었다. 한편 그림 6(b)에 소량의 먼지가 균일하게 도포된 상황에서는 먼지 인덱스 score가 884가 나왔으며, 그림 6(c)에 표시된 굵은 흩먼지가 불균일하게 도포된 경우, 먼지 인덱스 score가 2,038이 산출되었다. 이처럼 먼지의 두께와 분포 상황에 일관성 있게 먼지 인덱스 score가 산출됨으로서 먼지 인덱스에 대한 방법이 적정한 것으로 판단되었다.

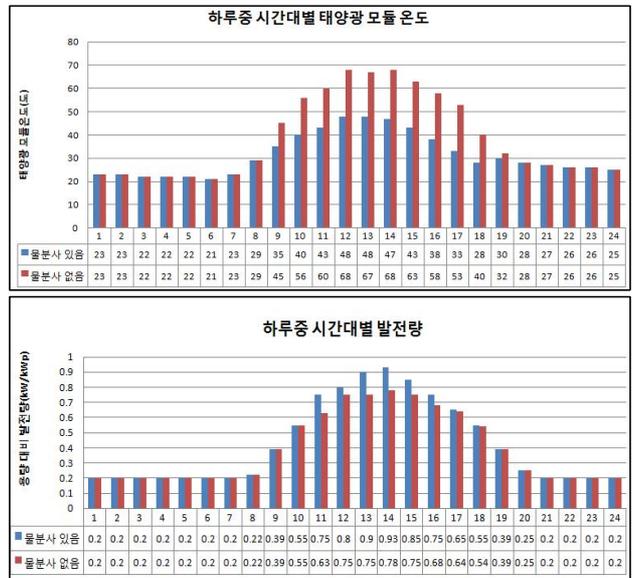
### 2.4 수상 태양광발전 운전데이터 검증

그림 7은 먼지 측정시스템의 프로그램 및 반월저수지 현장에 설치된 수상 태양광발전시설에 장착된 오염측정시스템의 실물 사진이다. 그림 8은 개발된 오염측정시스템 장착전후 태양전지 모듈의 온도와 발전량을 하루 중 시간대별로 측정된 결과이다. 물을 분사하지 않은 경우 태양광 모듈의 온도는 최대 70℃까지 상승하며, 이에 따라 모듈 효율이 저하되며 발전용량의 80% 미만의 전력이 생산되었다. 한편 물을 분사한 경우에는 태양광 모듈의 온도가 50℃ 이하로 유지되었으며 발전량이 발전용량의 90%에 육박하는 결과를 보였다. 인공담 수면에 수면 태양광 발전 Pilot 장치에서 펌프를 이용하여 태양광 모듈을 냉각시켜 지상 대비 10%내외의 발전량 증가를 확인하였다.



〈그림 7〉 측정 프로그램/수상 태양광발전설비에 장착된 사진

그림 7은 먼지 측정시스템의 프로그램 및 반월저수지 현장에 설치된 수상 태양광발전시스템에 설치된 오염측정시스템의 사진이다. 그림 8은 개발된 오염측정시스템 장착전후 태양전지 모듈의 온도와 발전량을 하루 중 시간대별로 측정된 결과이다. 물을 분사하지 않은 경우 태양광 모듈의 온도는 최대 70℃까지 상승하며, 이에 따라 모듈 효율이 저하되며 발전용량의 80% 미만의 전력이 생산되었다. 한편 물을 분사한 경우에는 태양광 모듈의 온도가 50℃ 이하로 유지되었으며 발전량이 발전용량의 90%에 육박하는 결과를 보였다. 인공담 수면에 수면 태양광 발전 Pilot 장치에서 펌프를 이용하여 태양광 모듈을 냉각시켜 지상 대비 10%내외의 발전량 증가를 확인하였다.



〈그림 8〉 측정시스템 장착전후 태양광발전 운전데이터 측정 결과

### 3. 결론

본 논문에서는 태양전지 모듈의 표면 오염으로 인한 태양광발전량의 감소를 사전 예방하기 위해 영상기술을 이용한 표면 오염도 자동검출 기술에 대해 논의하였다. 일반적인 태양광발전시스템의 경우 태양전지 모듈의 표면 오염원 제거를 위해 사람의 수동적인 방법에 의존하는 것이 현실이나, 커다란 규모의 태양광 발전시설의 경우는 인력으로 오염원을 제거하는 것은 거의 불가능 하다. 이러한 관점에서 태양전지 모듈 표면에 떨어진 오염 물질로 인한 출력감소를 사전에 예방하고, 시스템을 효율적으로 운영하기 위해 이미지 영상기술이 적용되었다. 기본적으로 레이저 광원과 먼지와 상호 interaction을 통해 생성된 반사파 및 이를 CCD 영상으로 획득하고 태양전지 모듈 표면의 오염원의 유무, 균일/불균일 분포 등의 비교 시험을 수행하였고, 개발된 오염측정 시스템을 수상 태양광발전 파일럿 설비에 적용하여 운전성능을 검증하였다.