



# 라인 렌즈를 이용한 음영 발생 방지 가능 태양광 모듈

배진욱<sup>1)</sup> · 정진도<sup>2)\*</sup>

## Solar Module with a Line Lens Being Capable of Overcoming Shading

Jinuk Bae<sup>1)</sup> · Jindo Chung<sup>2)\*</sup>

Received 13 May 2019 Revised 19 June 2019 Accepted 25 June 2019

**ABSTRACT** This study examined the construction of a solar module that increases the power generation efficiency. The module is equipped with a line shaped optical lens module on the upper edge of the solar panel and adjusts the incident light around the upper edge. The light is emitted in the light-receiving plane of the solar panel located at the backside, and shading of the module is prevented, thereby increasing the solar power generation efficiency.

- 1) The maximized efficiency design was based on the solitary solar altitude. The inclination of the solar module was 62°. The solar module installation interval was 6.64 m and the total area required was 1,430 m<sup>2</sup>.
- 2) The maximum efficiency design for spring and fall based on solitary solar altitude was determined. The inclination of the solar module was 30°. The solar module installation interval was 3.761m and the total area required was 1,372 m<sup>2</sup>.
- 3) The design after applying the line lens of the solar altitude standard was determined. The inclination of the solar module was 30°. The solar module installation interval was 1.252 m and total area required was 1,084 m<sup>2</sup>.

A comparison of the area efficiency of with 3) and 1) revealed a 24% improvement, and the area efficiency of 3) compared to 2) revealed 21% improvement.

**Key words** Solar efficiency(태양광효율), PV efficiency(태양광효율), Solar lens(태양광렌즈), Solar power plant efficiency(태양광발전소효율), Solar module with line lens(라인렌즈를 접목한 태양광모듈), PV lens preventing from shading(음영발생방지 태양광모듈 렌즈)

### Nomenclature

- PV : photovoltaic  
PMMA : polymethyl methacrylate  
PC : poly carbonate

1) Student, Department of Energy Climate Convergence Technology, Hoseo University

2) Professor, Department of Energy Climate Convergence Technology, Hoseo University

\*Corresponding author: jindo312@gmail.com

Tel: +82-41-540-5743 Fax: +82-41-540-5748

### 1. 서론

태양광 발전(Solar Photovoltaic Power Generation)은 태양전지(Solar Cell), 축전지 및 전력변환장치로 구성되며, 태양광이 P형과 N형 반도체를 접합시킨 태양전지에 조사되면, 태양광이 지나는 광 에너지에 의해 정공과 전자가 확산되고, 여기서 발생된 전위차에 의해 전자가 이동하면서 전류가 흐르게 된다. 태양광 패널은 다수의 태양전지를 전후 및 횡 방향으로 직렬 또는 병렬 연결하여 결합한 형태로써, 태양전지 각각에서 생산된 전기가 모이게 되며, 결

합된 태양전지의 수가 증가할수록 생산되는 전기의 양은 증가하게 된다. 이때, 한 어레이의 모듈은 각각 직렬로 연결되기 때문에 모듈하나에서 음영이 발생하면 1/n의 효율이 줄어들게 되는 것이 아닌 전체의 저항으로 작용하게 되어 효율이 크게 줄어들게 된다. 반면 광량이 조금이라도 들어오게 되면 저항으로 작용되지 않기 때문에 음영이 발생한 효율 감소량을 크게 낮출 수 있다<sup>[1]</sup>.

태양광 모듈의 설치 면적에서 최대 효율을 얻기 위하여 가능한 한 많은 개수의 태양광 모듈을 설치하게 된다. 이때, 각 태양광 모듈은 전방에 위치한 태양광 모듈이 후방에 위치한 태양광 모듈에 영향을 미치지 않도록 배치하게 된다.

태양광 모듈의 구조는 크게 태양광 패널을 고정시킨 고정 방식과 태양광 패널이 태양을 추적하도록 구성된 추적 방식으로 구분된다. 고정 방식의 태양광 모듈은 태양의 위치와 관계없이 태양광 패널을 완전히 고정시키거나, 계절 또는 월별로 태양광 패널의 경사각을 수동으로 변경시킬 수 있도록 구성되기도 한다. 추적 방식의 태양광 모듈은 태양의 이동을 추적하는 기능을 위해 태양광 패널의 전면이 이동하도록 구성된다<sup>[2]</sup>.

태양광 모듈은 태양광 패널의 수광면에 수직으로 태양광이 입사될 때 발전 효율이 가장 높기 때문에, 가능한 한 태양광이 패널의 수광면에 수직으로 입사되도록 구성되는 것이 효율적이다. 이에 대부분은 수동 방식으로 계절별로 태양광 패널의 수광면이 태양의 고도에 수직되게 배치되도록 하거나, 추적 장치와 모터 등의 구동 장치를 장착하여 태양광 패널의 수광면이 태양의 고도와 방위각을 따라 이동하도록 구성하여 태양광 발전 효율을 증대시키게 된다. 하지만, 현실적으로 모터의 고장이 많이 발생되기 때문에 유지 보수 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 즉각적인 A/S가 되지 못하므로 발전량에 대해 손해를 볼 수밖에 없는 것이 현실이다. 이에 본 논문에서는 태양광 모듈 상단의 특화된 라인 렌즈를 통해 음영 발생을 방지하여 태양광 발전 효율을 극대화하는 방안을 제시한다. 또한 음영 발생 방지에 따라 기존 보다 더 작은 설치 이격 거리를 확보하여 한정된 설치 공간 내에서 더욱 많은 용량의 설치로 높은 발전량을 기대할 수 있다<sup>[3]</sup>.

## 2. 본 론

### 2.1 기존 태양광 모듈의 문제점

Fig. 1은 기존의 일반적인 설치 구조이며, 각 계절에 대하여 지표면에 대한 태양광 모듈의 경사각을 설명하기 위하여 도시한 측면도들이다. Fig. 1의 (a)는 태양광 패널에 대한 여름의 경사각을, (b)는 봄 및 가을의 경사각을, (c)는 겨울의 경사각을 각각 표시하는 측면도들이다. Fig. 1에 도시된 바와 같이, 태양의 고도를 따라 태양광 패널의 수광면을 트래킹시킴으로써, 계절에 따라 지표면에 대한 태양광 패널의 경사각이 변화하게 된다. 태양광 패널의 수광면의 경사각이 태양의 고도가 높은 여름에는 약 15° 정도이며, 태양의 고도가 낮은 겨울에는 약 45° 정도이다. 이러한 경사각에 따라 태양광 패널의 후면에 그림자가 발생하게 되는데, 여름에는 그림자가 짧게 형성되고 겨울에는 그림자가 길게 형성된다.

따라서, 설치 부지에 복수 개의 태양광 모듈들을 순차적으로 설치하는 경우, 전방에 위치한 태양광 모듈의 그림자에 의해 후방에 위치한 태양광 모듈의 수광면에 음영이 발생되지 않도록, 이웃한 태양광 모듈들은 서로 일정 거리 이격시켜 설치하여야 한다.

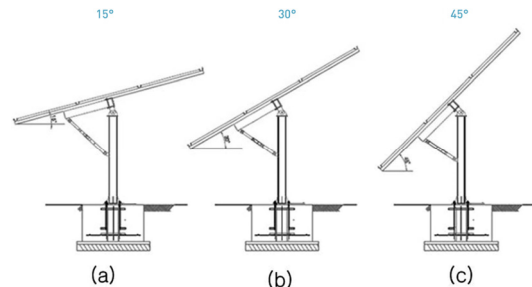


Fig. 1. Solar module inclination angle for the seasons

Fig. 2는 기존 기술에 따라 이웃한 태양광 모듈들의 최소 이격 거리를 설명하기 위하여 도시한 측면도이다. Fig. 2를 참조하면, 그림자에 의한 음영이 발생되지 않도록 하기 위하여, 이웃한 태양광 모듈들의 이격 거리는 다음 (1)과 같다.

$$X_1 = L [ \cos(\text{tilt}) + \sin(\text{tilt}) \times \tan(\text{lat} + 23.5^\circ) ] \quad (1)$$

여기서,  $X_1$ 은 태양광 모듈의 최소 이격 거리,  $L$ 은 태양광 패널의 길이,  $\text{tilt}$  는 태양광 패널의 경사각,  $\text{lat}$ 는 설치 지역의 위도이다. 하지만, 상기 방법에 따라 태양광 모듈들을 설치하더라도, 발전 효율을 향상시키기 위하여 태양광 패널을 계절별로 경사각을 변경시키거나 태양광 모듈을 추적 방식으로 구동하는 경우, 태양광 패널의 경사각이 달라지게 되고 그 결과 태양광 패널의 그림자에 의해 이웃한 태양광 패널의 수광면에 음영이 발생될 수 있다.

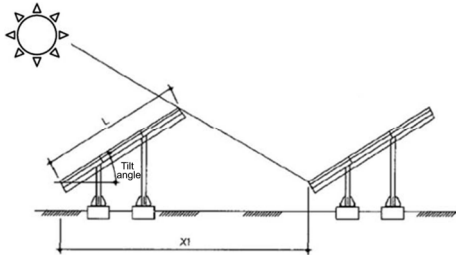


Fig. 2. Distance between solar modules

Fig. 3은 태양광 모듈이 인접한 태양광 모듈에 의해 음영이 발생하는 상태를 예시적으로 도시한 개념도이다. Fig. 3에서와 같이, 태양광 모듈들이 최소 이격 거리 이내에 설치되는 경우, 후방에 위치한 태양광 모듈은 전방에 위치한 태양광 모듈의 그림자에 의해 수광면의 하부 영역('a' 영역)에 음영이 발생하게 된다.

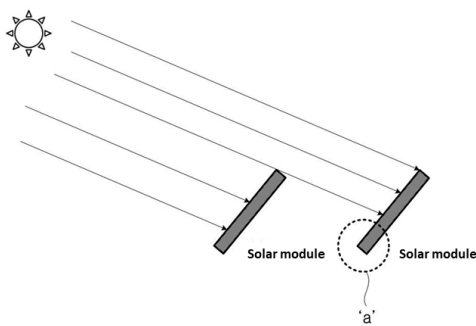


Fig. 3. Shaded areas of Solar modules

Fig. 4는 태양광 패널의 수광면에 음영이 발생된 상태를 예시적으로 도시한 상태도이다. Fig. 4에서와 같이, 태양광 패널의 수광면의 일부 영역에 음영이 발생되면, 음영 발생된 영역에 위치한 태양 전지들에서 매우 큰 전압 강하가 발생하게 되고, 이로 인하여 에너지 효율이 급격하게 감소

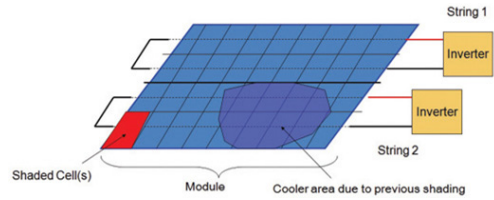


Fig. 4. Decreased efficiency due to shaded area

하게 되는 문제가 있다.

태양광 모듈은 여러장의 태양전지를 직렬로 연결하여 만들어지는데, 태양전지가 직렬로 배열된 모듈의 일부에 그림자가 드리워지면, 그림자가 있는 부위의 전류는 급격히 줄어들고, 직렬 배열의 특성 때문에 그림자가 있는 부위와 서로 직렬로 연결된 다른 태양전지의 전류 또한 급격히 떨어지게 되고, 그 결과 전체 발전량이 급격히 감소하는 단점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 해소하고 태양광 모듈에서 최대 에너지를 얻기 위하여, 태양광 패널의 수광면에 음영이 지지 않도록 설치 간격을 충분히 이격시켜 주는 것이 필수적이다. 따라서, 태양광 모듈들의 최소 이격 거리를 태양 고도가 가장 낮은 겨울의 동지를 기준으로 하여 설정하여야 한다. 하지만, 이러한 해결 방법은 설치 면적에 많은 개수의 태양광 모듈을 설치할 수 없기 때문에, 전체적으로 발전 효율이 감소되는 문제점을 발생시키게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 광학 렌즈를 이용한 설계를 통해 태양광 모듈들 간의 이격 거리를 최소화시키면서 태양광 패널의 수광면에 음영이 발생되지 않도록 하여, 동일 설치 부지(면적)에서 최대의 발전 효율을 얻는 방안을 제안하고자 한다.

## 2.2 라인 렌즈를 이용한 태양광 모듈의 설계

본 논문에서 제시하는 태양광 모듈은 태양광 패널의 상부에 30° 이상의 확산각을 갖는 광학 렌즈를 장착함으로써, 태양광 모듈에 의해 후방의 소정 영역에 그림자가 생기지 않도록 하며, 그 결과 후방에 설치되는 태양광 모듈의 태양광 패널의 수광면에 음영이 생기는 것을 방지할 수 있도록 한다. 다음은 음영 발생 방지가 가능한 태양광 모듈의 구조 및 동작에 대하여 구체적으로 설명한다.

Fig. 5는 본 논문에서 제시하는 대표적인 구조도 이다.

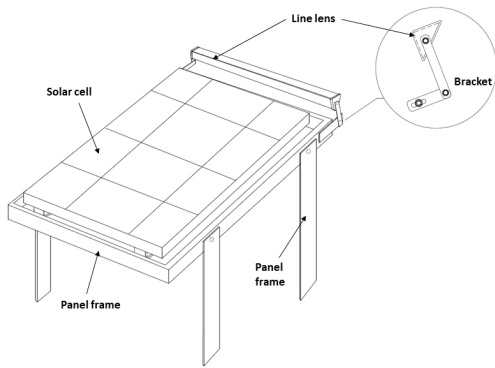


Fig. 5. Design of solar module using line lens

Fig. 5의 태양광 모듈은 태양광 패널, 패널 프레임, 프레임 지지대, 라인 형태의 광학 렌즈 및 결합 기구물로 구성되어 있다. 태양광 패널은 여러 개의 태양 전지가 어레이 형태로 배치된 패널이다. 패널 프레임은 내부에 상기 태양광 패널을 탑재시킬 수 있도록 구성된 사각형 프레임으로서, 태양광 패널의 모서리에 장착되어 태양광 패널을 고정시키게 된다. 프레임 지지대는 상기 패널 프레임의 양측에 결합되어 상기 패널 프레임이 지면으로부터 일정 거리 이격되도록 할 뿐만 아니라 지면에 대해 일정 각도의 경사도를 갖도록 구성된다.

라인 광학 렌즈는 입사광을 굴절시켜 빛의 진행방향에 대하여 30° 이상의 확산각을 가지면서 출사되도록 구성된 막대 형상의 렌즈로서, 결합 기구물을 이용하거나 패널 상단에 접착하여 상기 패널 프레임의 일측 모서리의 상부에 장착된다. 특히 라인 광학 렌즈는 패널 프레임의 상부 모서리의 상부에 장착되어 음영 지역에 대한 문제를 해결할 수 있으며, 추가적으로 패널 프레임의 양측 모서리의 측면에도 장착될 수 있다.

라인 광학 렌즈의 확산각은 태양광 모듈들의 이격 거리에 따라 선택하여 설정되는 것이 유리하다. 라인 광학 렌즈는 PMMA(Polymethyl methacrylat), PC(Poly carbonate), 유리(Glass) 등과 같이 투명한 재질로 제작되어, 광의 손실 없이 굴절되어 출사되도록 제작할 수 있으나 태양광 노출 및 외부 환경에 따른 내구성이 문제가 된다면 퀴즈(Quartz) 또는 퓨즈드 실리카(Fused silica)로 제작할 수 있다.

제안하는 구조에서의 결합 기구물은 라인 광학 렌즈의 양단부를 패널 프레임의 모서리의 양측에 결합시켜 광학 렌

즈를 패널 프레임에 장착시킬 수 있으며, 나사 또는 볼트와 너트 등으로 이루어져 광학 렌즈를 패널 프레임에 고정 체결시키거나, 패널 프레임과 광학 렌즈에 각각 부착된 브라켓으로 이루어지고, 이는 사전 설정된 각도의 범위 내에서 렌즈의 각도가 회전가능하게 연결시킴으로써, 광학 렌즈가 소정 각도만큼 회전 가능하도록 구성할 수 있다.

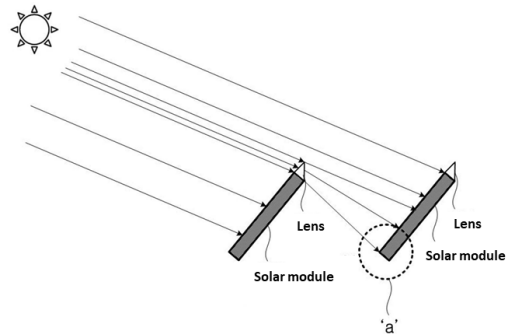


Fig. 6. Solar module using line lens

Fig. 6은 제안하는 태양광 모듈에 있어서, 광학 렌즈에 의해 입사되는 광이 굴절되는 상태를 도시한 개념도이다. Fig. 6에서 보는 것과 같이 전방에 위치한 태양광 모듈은 태양광 패널의 상부에 위치한 광학 렌즈에 의해 입사광이 굴절되어 출사되어, 후방에 위치한 태양광 모듈의 태양광 패널로 제공된다. 기존 설치 구조에 따른 그림 4와 비교하면, 기존 태양광 모듈은 그림자에 의하여 후방에 위치한 태양광 모듈에 음영(영역 'a')이 발생되나, 본 발명에서는 후방에 위치한 태양광 모듈의 'a' 영역에 전방 태양광 모듈의 그림자에 의한 음영이 발생되지 않게 됨을 알 수 있다.

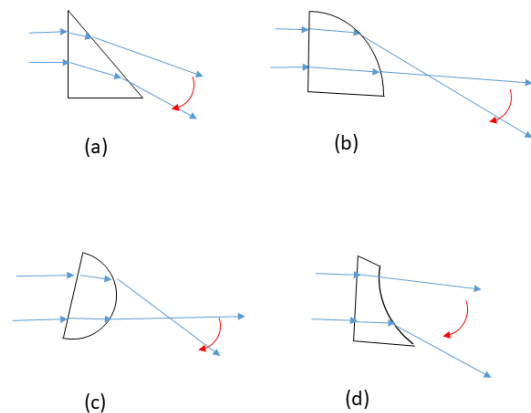


Fig. 7. Line lens design using geometric optics

Fig. 7은 Fig. 6의 모식도에 따른 태양광 모듈에 있어서, 광학 렌즈의 다양한 설계 형태를 도시한 단면도들이며, Fig. 7에서와 같이 라인 광학 렌즈는 (a)의 삼각형상의 단일의 프리즘으로 구성되거나, (b)의 반원형의 프리즘으로 구성되거나, (c)의 일면이 볼록 렌즈로 구성된 형상으로 이루어지거나 (d)의 일면이 오목 렌즈로 구성된 형상으로 이루어질 수 있다. 또한, Fig. 7의 다양한 형태의 광학 렌즈들이 프레넬 패턴화되어 구성되거나, 멀티 어레이 형태로 확장된 광학 렌즈로 구성될 수도 있다<sup>[4]</sup>.

### 2.2.1 렌즈의 곡률 설계

렌즈 곡률은 음영부분의 패널에 입사되는 확산 각도를 결정하는 중요한 요소이며, Fig. 8에서와 같이  $\theta$ 가 30도 이상 확산되기 위하여 렌즈의 직경  $D$ 와 렌즈의 초점거리  $f$ 는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$D \geq f \tag{2}$$

이때 렌즈의 곡률  $R$ 은 렌즈 제작자의 공식 (3)에 의해 다음과 같이 정의 된다.

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left( \frac{1}{R1} - \frac{1}{R2} \right) \tag{3}$$

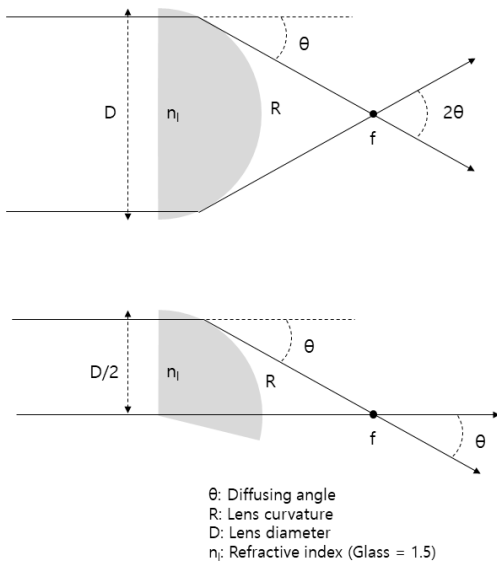
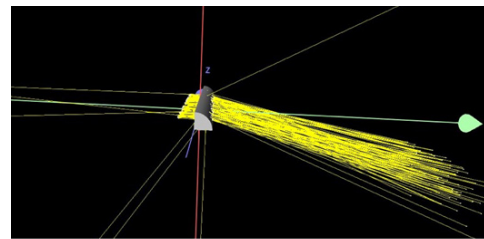


Fig. 8. Lens curvature design

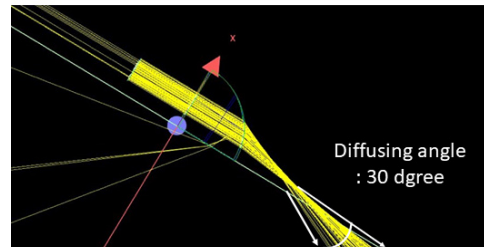
반구형 렌즈 이고, 직경  $D$ 를 100mm로 제작하였을 때  $f$ 는 10mm, 렌즈의 굴절률  $n_l$ 은 1.5(Glass)를 대입하면 (4)와 같으며,  $R = 50\text{mm}$  이하 이어야 함을 알 수 있다.

$$\frac{1}{100} = (1.5 - 1) \left( \frac{1}{R} \right) \tag{4}$$

Fig. 9는 반원형의 프리즘으로 구성된 광학 렌즈에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로서, (a)와 (b)는 서로 다른 각도에서 본 시뮬레이션 결과이며, 입사 각도에서부터 태양광 모듈의 아래쪽으로 30도 이상 확산되어 출사되는



(a)



(b)

Fig. 9. Proposed line lens simulation report

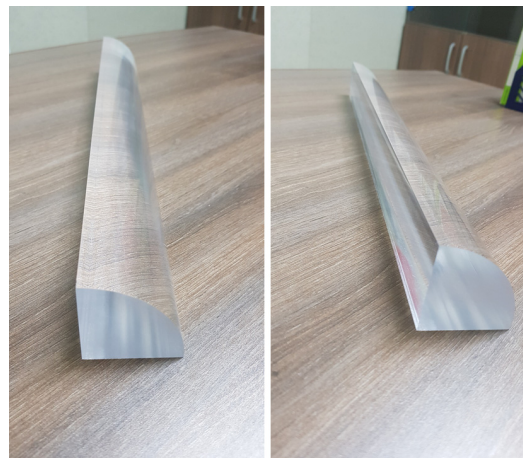


Fig. 10. Manufactured line lens

것을 파악할 수 있다.

Fig. 10은 직경 100mm, 곡률 50mm의 상기 설계 사양으로 제작된 라인 렌즈의 사진이다.

### 2.2.2 라인 렌즈를 이용한 태양광 모듈의 광학시뮬레이션

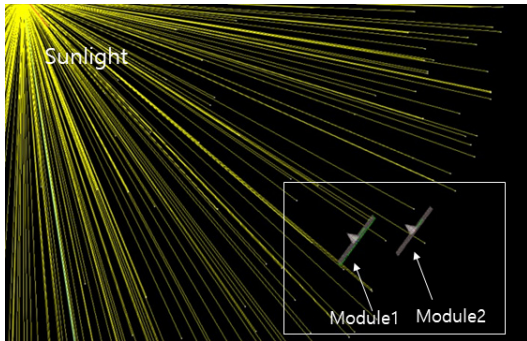


Fig. 11. Simulation condition

상기 Fig. 11에서와 같이 동지 설치 기준의 태양광 스펙트럼 및 배광을 기준으로 모듈 2PCS를 설치하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 라인 렌즈가 없는 기존 구조의 광학 시뮬레이션과 제안하는 사양(Fig. 9)의 라인 렌즈를 장착한 광학 시뮬레이션을 진행하고 결과를 비교해 보았다.

광학 시뮬레이션을 위해 태양광 패널 사이즈를 모델링하고 태양광 수광을 해석하기 위해 irradiance map을 모듈면에 설치하여 시뮬레이션 하였다.

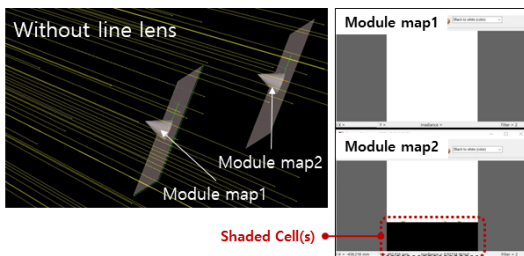


Fig. 12. Conventional structure simulation

상기 Fig. 12에서와 같이 동지 기준 설치 시 기존 구조의 모듈은 두 번째 모듈에서 약 1/3 가까이 수광이 전혀 안되는 음영영역이 발생함을 볼 수 있다. 이는 매우 큰 전압 강하로 급격한 발전효율 저하를 초래할 수 있다.

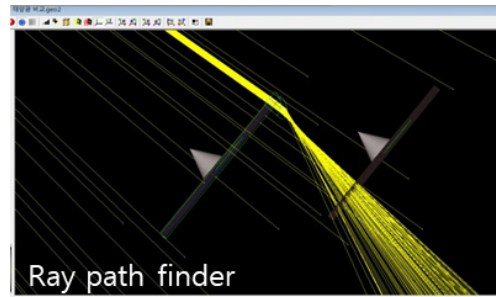


Fig. 13. Ray path finder simulation

Fig. 13은 제안하는 사양의 라인 렌즈를 장착하여 음영영역이 발생했던 구간의 map에서 빛의 경로를 추적한 시뮬레이션으로 렌즈 설계 시 반영되었던 광학 설계 경로가 일치함을 알 수 있다.

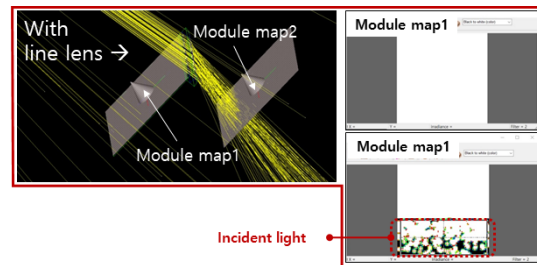


Fig. 14. Proposed structure simulation

상기 Fig. 14에서와 같이 제안하는 구조의 모듈 수광 시뮬레이션 결과는 두렷한 음영영역에 라인 렌즈로 인한 확산광이 입사되는 결과를 보여주고 있다.

### 2.3 라인 렌즈를 이용한 태양광 모듈의 효과

태양광 모듈의 태양광 패널의 상부에 막대 형상의 광학 렌즈를 설치함으로써, 광학 렌즈로 입사되는 광을 확산시켜 후방에 위치한 태양광 패널의 수광면으로 제공하게 된다. 그 결과, 후방에 위치한 태양광 패널의 수광면에 음영이 발생하는 것을 방지할 수 있게 되어, 태양광 모듈의 발전 효율을 증대시킬 뿐만 아니라 면적 효율까지 개선할 수 있게 된다<sup>[5]</sup>.

Fig. 15는 광학 렌즈가 없는 기존의 태양광 모듈들이 동지를 기준으로 하여 최대효율을 낼 수 있는 상태를 도시한 모식도이다. Fig. 15를 참조하면, 태양 고도가 약 28°인 동

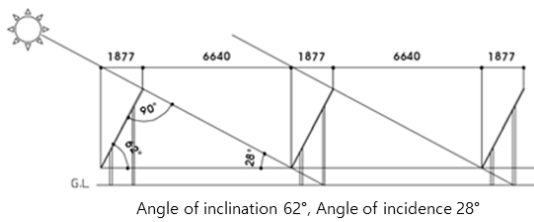


Fig. 15. Conventional structure installation without lens (Maximum efficiency)

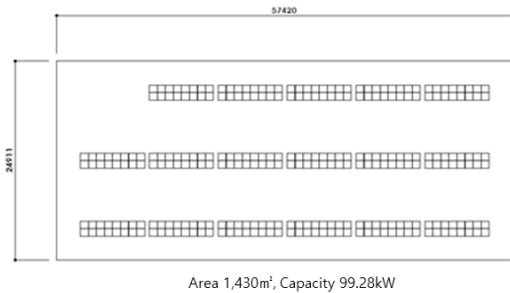


Fig. 16. Floor plan of 100kW capacity site in Fig. 15

지를 기준으로 하여 설치할 때 태양광 모듈의 경사도는 62°, 음영각은 28°이며, 이 경우 기존의 태양광 모듈들은 후방에 위치한 태양광 모듈들에 음영이 발생되지 않도록 하기 위하여 설치 간격은 6.64m로 설정되어야 한다.

Fig. 16은 Fig. 15의 기존 구조를 갖는 태양광 모듈들을 소정의 설치 부지에 설치한 상태를 도시한 평면도이다. Fig. 16을 참조하면, 100kW의 발전소를 짓기 위해서 각 태양광 모듈들은 6.64m의 간격으로 이격되어 설치되어야 하며, 전체 272개의 태양광 모듈들이 설치될 수 있음을 알 수 있다. 전체 부지 필요면적은 1,430m<sup>2</sup>이다.

Fig. 17은 광학 렌즈가 없는 기존의 태양광 모듈들이 동지를 기준으로 하여 일반적으로 설치된 상태를 도시한 모식도이다. Fig. 17을 참조하면, 태양 고도가 약 28°인 동지를 기준으로 하여 설치할 때 태양광 모듈의 경사도는 30°, 음영각은 28°이며, 이 경우 종래의 태양광 모듈들은 후방에

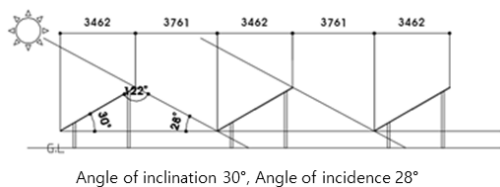


Fig. 17. Conventional structure installation without lens (General efficiency)

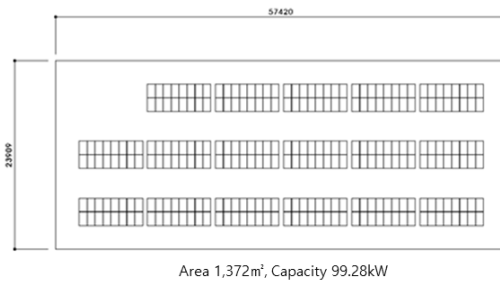


Fig. 18. Floor plan of 100kW capacity site in Fig. 17

위치한 태양광 모듈들에 음영이 발생되지 않도록 하기 위하여 설치 간격은 3.761m로 설정되어야 한다.

Fig. 18은 Fig. 17의 기존 구조를 갖는 태양광 모듈들을 소정의 설치 부지에 설치한 상태를 도시한 평면도이다. Fig. 18을 참조하면, 100kW의 발전소를 짓기 위해서 각 태양광 모듈들은 3.761m의 간격으로 이격되어 설치되어야 하며, 전체 272개의 태양광 모듈들이 설치될 수 있음을 알 수 있다. 전체 부지 필요면적은 1,372m<sup>2</sup>이다.

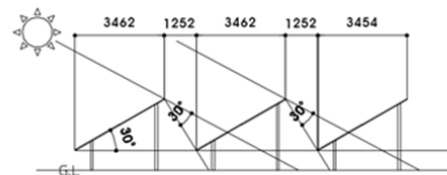


Fig. 19. Proposed structure installation with line lens

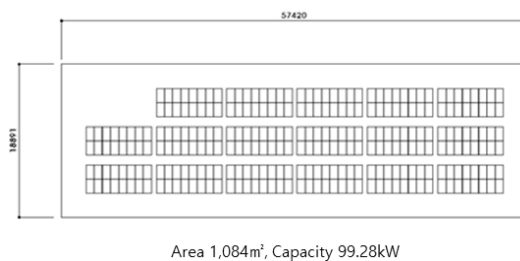


Fig. 20. Floor plan of 100kW capacity site in Fig. 19

한편, Fig. 19는 본 논문에서 제안하는 광학 렌즈가 설치된 태양광 모듈들을 동지를 기준으로 하여 설치된 상태를 도시한 모식도이며, Fig. 20은 Fig. 19의 태양광 모듈들을 100kW의 용량을 기준으로 설치 부지에 설치한 상태를 도시한 평면도이다.

Fig. 20을 참조하면, 제안하는 태양광 모듈의 경사도는  $30^\circ$ 이며 음영각이  $30^\circ$ 일 때, 광학 렌즈에 의해 하측  $30^\circ$  영역이 보강됨에 따라, 설치 간격은 1.252m로 설정될 수 있다. Fig. 18의 기존 구조와 비교할 때, 제안하는 구조의 설치 간격은 기존 구조보다 약 2.509m를 감소시킬 수 있게 됨을 알 수 있다. 면적은  $1,372\text{m}^2$ 에서  $1,084\text{m}^2$ 로 줄어들어  $288\text{m}^2$ 만큼의 면적을 아낄 수 있으며, 약 21%의 면적효율 개선효과를 볼 수 있다.

동지 최대효율을 내는 Fig. 16의 기존 구조와 본 제안에 따른 구조를 비교 해보면 설치간격은 기존 구조보다 약 5.388m를 감소할 수 있으며, 면적은 무려  $346\text{m}^2$ 가 줄어들어 24%의 면적효율 개선 효과를 볼 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 기존의 태양광 발전 시스템에 있어서 설치 면적내에서 최대 효율을 얻기 위하여 가능한 많은 개수의 태양광 모듈 설치가 가능하도록 음영 발생 방지가 가능하며, 최대 효율을 낼 수 있는 것에 초점을 맞추어 평가하였고 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 동지 태양고도 기준 동지 최대 효율 설계
  - 태양 고도 약  $28^\circ$
  - 태양광 모듈의 경사도는  $62^\circ$
  - 태양광 모듈 설치 간격 6.64m
  - 전체 부지 필요면적  $1,430\text{m}^2$
- 2) 동지 태양고도 기준 봄, 가을 최대효율 설계
  - 태양 고도 약  $28^\circ$
  - 태양광 모듈의 경사도는  $30^\circ$
  - 태양광 모듈 설치 간격 3.761m
  - 전체 부지 필요면적  $1,372\text{m}^2$
- 3) 동지 태양고도 기준 라인렌즈 적용 후 설계
  - 태양 고도 약  $28^\circ$
  - 태양광 모듈의 경사도는  $30^\circ$
  - 태양광 모듈 설치 간격 1.252m
  - 전체 부지 필요면적  $1,084\text{m}^2$

3)과 1)대비 면적효율은 24%, 3)과 2)대비 면적효율은 21%의 개선효과가 있는 것으로 연구되었다. 국토가 좁은 우리나라에서 태양광 발전소의 낮은 면적 효율 때문에 이를 개선하려는 연구는 활발히 진행되고 있지만 실제 적용할 수 있는 기술은 극히 드문 게 현실이다. 본 논문에서 연구한 라인렌즈는 기존에 잘못 설계되어 음영이 발생하는 태양광 발전소에도 즉시 적용이 가능하며, 신규 건설하는 태양광발전소에 라인렌즈가 설치된 태양광 모듈을 사용하면 기존의 설계형태 2)번 대비 면적을 약 21% 줄일 수 있다는 것을 본 논문을 통해 확인 하였다.

### 감사의 글

본 연구는 호서대학교 박사학위 졸업 논문을 위해 수행한 연구과제의 결과입니다.

### References

- [1] Jeon, H.Y., 2014, "Functional solar module to induce maximum power in shading state", Master Thesis, Department of Electrical Engineering, Chungbuk National University.
- [2] Kim, D.H., 2013, "A study on the efficiency of highly focused photovoltaic module considering inclination angle", Master Thesis, Department of Electrical Engineering, Pukyong National University.
- [3] Song, J.H., 2013, "Linear Fresnel Lens Design for Condensing Photovoltaic Devices", Master Thesis, Department of Image and Optical Engineering, Kongju National University.
- [4] "Secondary Optics Design Considerations for SuperFlux LEDs", Lumileds' Technic article <http://www.lumiled.com/uploads/227/AB20-5-PDF>
- [5] R.H. Simons and A.R. Bean, 2001, "Lighting Engineering Applied calculations", MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, pp. 234-250.