

# 수치표면모형 기반의 방음벽일체형 태양광 시스템 설치 적지분석

윤준희  
한국건설기술연구원

## Digital Surface Model based Proper Installation Site Analysis for Soundproof Wall Integrated Photovoltaic System

Junhee Youn  
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**요약** 대부분의 건물일체형 태양광 발전 시스템(BIPVS; Building Integrated Photovoltaic System)은 건물의 옥상이나 벽면에 설치된다. 따라서 BIPVS의 설치 위치 선정 시 고려해야할 가장 중요한 요소는 주변 건물에 의한 그림자 영향이다. 그러나 지면 위에 있는 방음벽에 태양광 시스템을 설치할 경우, 그림자는 주변 건물은 물론 가로수에 의해서도 생성된다. 따라서 방음벽 일체형 태양광 발전 시스템(SIPVS; Soundproof wall Integrated Photovoltaic System)의 설치 적합지를 선정하기 위해서는 BIPVS의 경우와 다른 데이터 모델 및 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 수치표면모형 기반의 방음벽 일체형 태양광 시스템의 설치 적지 분석을 다룬다. 첫째, 설치 후보지(태양광 패널)의 연간 태양 입사각과 고도각을 계산한다. 둘째, 설치 후보지의 시간대 별 그림자 생성 여부를 수치표면모형을 이용하여 결정한다. 셋째, 그림자가 생성되지 않은 시간대의 태양 입사각을 이용하여 일사량을 계산한다. 일사량의 연간 누적 비교를 통하여 일사량이 충분한 곳을 SIPVS의 설치 적합지로 결정할 수 있다. 제안된 알고리즘은 시작품 형태로 구현(Java Program)되었다. 실험 결과, 총 아홉 곳의 후보지에 대한 설치 적합도의 순서를 결정할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 건물의 낮은 위치에 설치할 BIPVS의 적정 설치위치 및 기대 전력 생산량의 계산에도 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** Most of a BIPVS (Building Integrated Photovoltaic System) is installed on the rooftop or wall of a building. Therefore, the main factor to consider for selecting the installation site is the shadow effects produced by the surrounding buildings. On the other hand, when the photovoltaic was installed on soundproof walls, shadow effects were produced by not only surrounding buildings but also the surrounding trees. Therefore, a different data model and algorithm with the BIPVS case are essential for proper installation sites selection of a SIPVS (Soundproof wall Integrated Photovoltaic System). This paper deals with the DSM (Digital Surface Model)-based proper installation site analysis for SIPVS. First, the solar incident and altitude angles of the installation candidate sites (solar panel) during the year were calculated. Second, the shadow effects (shadowed or unshadowed) were determined for the candidate sites at each time with the DSM. Third, the amount of solar radiation was calculated with the incident angle for the candidate sites at an unshadowed period. The proper installation site of the SIPVS could then be selected by comparing the accumulated annual solar radiation for each candidate. The proposed algorithm was implemented as a prototype (Java program). From the experiment, the order of the installation suitability was determined among the nine candidates. The proposed algorithm could be used for proper BIPVS installation site analysis aimed at the lower part of a building and calculation of the expected power production.

**Keywords** : Digital Surface Model, SIPVS, Proper Installation Site, Shadow Effect, Solar Radiation

\*Corresponding Author : Junhee Youn(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)  
email: younj@kict.re.kr

Received November 6, 2019  
Accepted March 6, 2020

Revised December 11, 2019  
Published March 31, 2020

### 1. 서론

태양광 모듈을 방음벽에 설치하고 이의 예상발전량을 추정하기 위해서는 우선 일사량 분석이 선행되어야 한다. 일사량 분석은 주로 건축분야를 중심으로 연구가 진행되어 왔으며 그 두 축을 이루는 것이 월드램 (Waldram) 기법과 3차원 그림자 (3D Shadow) 기법이다. 월드램을 이용한 일조환경분석은 천구상의 태양경로를 수직 평면 상에 직교좌표로 나타내고, 주변건물들과 환경의 양상을 같이 사영형식으로 겹침으로써 임의의 날짜에 있어서 일조시간을 파악할 수 있는 기법이다. 따라서 일출, 일몰 사이의 가조시간 중에서 주변건물에 의해 그림자가 생기는 일영시간과 가조시간에서 이를 뺀 일조시간을 분석할 수 있다. 월드램 상에 표현된 주변 장애물의 형태는 매우 복잡하게 인식되므로, 일조시간의 평가를 위해서는 장애물의 외곽선으로만 이루어진 윤곽을 알아야 한다. 이를 위하여 월드램 상에 표현된 모든 선을 검토하여 선의 교점이 있으면 교점을 구하고 이들 선들을 이등분시키는 작업을 수행한다. 이들 선들을 이용하여 은선제거(hidden line removal) 기법을 이용하여 장애물의 외곽선을 결정하게 된다. 이에 태양 궤적선과 장애물 외곽선의 교점을 이용하여 이후 보다 복잡한 과정을 거쳐 일조시간을 계산하게 된다[1]. 3차원 그림자 기법은 태양의 위치 벡터에 대한 계산과 그림자(일영)을 만드는 벽면을 파악함으로써 시작된다. 태양의 위치벡터와 벽면의 법선벡터를 이용하여 많은 건물 정보 중에서 실제 일영 계산에 필요한 벽면만 골라낼 수 있다[2]. 이 3차원 그림자 기법은 월드램 기법에 비하여 연산 량이 보다 복잡하여 시간이 더 소요되는 것으로 알려져 있다[3]. 태양광발전 최적지 선정을 위해 Solar Pro라는 상용 소프트웨어가 널리 사용되고 있으며, 시뮬레이션을 위한 태양광 모듈 규격 설정에서부터, 그림자 효과 분석, 발전량 추정까지 많은 기능을 제공하고 있다[4]. Solar Pro 소프트웨어 이외에 건물일체형 태양광 시스템의 전력발전부 설계를 위한 SysML기반의 시스템 모델링 시도[5]도 있었다. 그러나 일사량 분석이라는 부분에 국한하여 논하고자 할 때 기존의 이러한 방법들은 그 연산의 복잡성과 건물의 3D CAD 모델 정보를 입력해야 한다는 한계를 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 건물의 3D CAD 모델 정보를 직접적으로 이용하지 않으면서, 손쉬운 연산과정을 적용하려 한다. 즉, 라이더 등을 이용하여 획득된 DSM(Digital Surface Model) 데이터를 이용하여 태양광 모듈을 방음벽에 설치 시 주변 DSM

셀에 의한 폐색효과와 이로 인한 일사량의 영향, 그리고 그 예상 발전량에 대한 논의를 하고자 한다.

본 연구를 통해 제시된 SIPVS의 연간 발전량 추정 알고리즘은 아래와 같다. 우선 특정한 위치에 SIPVS를 설치하였다고 가정한다. 우선, 이 방음벽에 장착된 패널이 주변의 건물이나 산과 같은 지형지물에 의한 영향에 의해 태양빛을 못 받게 되는 폐색여부를 판단한다. 이를 위해서는 장착된 패널의 설치 좌표, 기울기, 방위각, 주변 지형지물의 DSM (Digital Surface Model), 그리고 특정한 시간대의 태양의 고도와 방위각이 필수적으로 필요하다. 만약, 특정한 시간대에서의 태양광 패널이 폐색되지 않았다면 태양의 고도, 방위각, 그리고 해당 패널에 태양빛이 입사하는 입사각을 이용하여 일사량을 계산할 수 있다. 이러한 연산을 1년 365일 매시간대에 대하여 연산을 하고 합함으로써 특정 패널의 연간 일사량을 추정할 수 있게 된다. 방음벽에 여러 개의 패널의 장착되어 있다면 이러한 연산을 모든 패널에 대하여 수행하고 발전량을 누적함으로써 방음벽 전체에서 연간 일사량을 추정할 수 있다. 하루 동안 특정 패널의 일사량 총량을 계산하는 프로세스는 아래 Fig. 1.에 나타나 있다. 또한, 이러한 프로세스를 수행하기 위하여 필요한 태양의 고도, 방위각, 입사각, 폐색여부, 그리고 연간 발전량 계산방법론에 대하여 아래의 절들에서 언급한다.

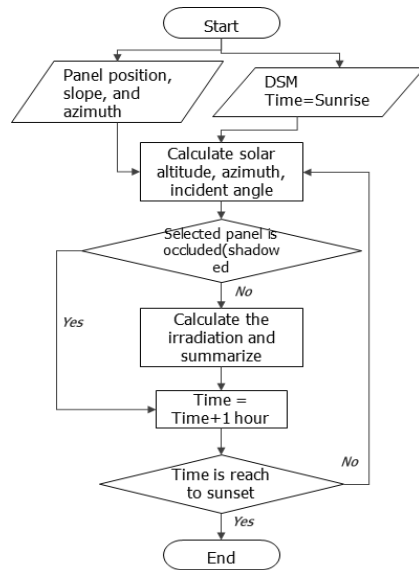


Fig. 1. Flowchart for calculating daily total amount of irradiation

## 2. 태양고도, 방위각, 입사각 계산

본 절에서는 폐색연산과 일사량 추정에 필수적인 태양 위치 연산에 대하여 다룬다. 다양한 태양위치(즉, 방위각, 고도, 입사각)에 대한 계산식들이 있어왔지만, 이들은 대부분  $\pm 0.01^\circ$ 보다 큰 각도 계산결과를 불러왔다[6, 7]. 또한, 이들 알고리즘들은 15년에서 몇백년 정도의 계산에만 유효한 결과를 산출해내었다[6, 7]. 본 연구에 사용된 알고리즘은 B.C. 2000년부터 A.C. 6000까지 정밀하게 계산되는 알고리즘으로  $\pm 0.0003^\circ$ 의 정확도를 가지고 있다[8]. 이들 각도의 차이는 미소해 보이지만 sin, cos등이 많이 계산되어지는 태양 일사량과 발전량의 계산에서는 심각한 영향을 줄 수 있기에 매우 정밀하게 계산되어진 태양고도, 방위각, 입사각을 본 연구에 이용하게 되었다. 사용되는 시간 표시법은 국제적으로 널리 통용되는 UTC (The Coordinated Universal Time)을 사용하였으며 우리나라의 경우에는 UTC offset이 9에 해당한다[9]. 태양의 고도, 방위각, 입사각을 계산하는 흐름도는 Fig. 2.에 나타나 있다.

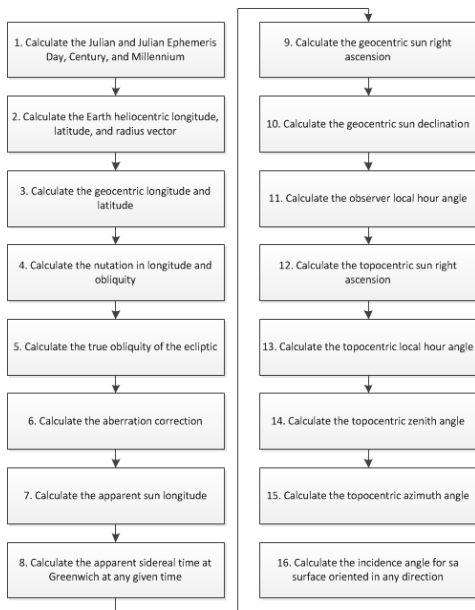


Fig. 2. Flowchart for calculating solar altitude, azimuth, and incident angle

계산의 과정은 총 15 단계로 이루어져 있다. Fig. 2.에서 첫 번째 프로세스는 율리우스 천문력을 계산하는 과정으로, -4712년 1월 1일 12:00:00 UT를 시작으로 한

다. 현재 사용하고 있는 그레고리력과는 10일의 간격차이를 보이고 있다. 율리우스력이 1582년 10월 4일 종료되고 10일뒤인 1582년 10월 15일에 그레고리력이 시작된다. 두 번째 프로세스는 태양의 중심을 기준으로 하여 지구의 경도, 위도, 반경을 계산하는 과정이다. 세 번째 프로세스는 지구의 중심을 기준으로 태양의 위치를 계산하는 과정이다. 네 번째 프로세스는 태양과 달에 의해서 지구의 자전축이 약 41000년을 주기로  $21.1^\circ$ 에서  $24.5^\circ$  사이의 각으로 변하는 현상으로 장동(nutation)이라 불린다. 이는 지구가 자전과 공전을 할 때 태양과 달에 의한 영향에 의해 약간의 미시 진동(섭동)현상이 발생하기 때문이다. 다섯 번째 프로세스는 장동(nutation)현상을 고려하여 황도(ecliptic)로부터 지구의 적도가 얼마나 기울어져 있는가를 정밀하게 계산하는 과정이다. 현재는 약  $23.4^\circ$  가량 기울어져 수백 년에 걸쳐 조금씩 감소한다. 여섯 번째 프로세스는 빛의 수차 보정량(aberration correction)을 계산하는 과정이다. 일곱 번째 프로세스는 빛의 수차 보정량과 장동현상을 고려하여 정확한 태양의 경도를 구하는 과정이다. 여덟 번째 프로세스는 그리니치에서 임의 시각에서의 항성시간(sidereal time)을 계산하는 과정이다. 아홉 번째 프로세스는 태양의 천체(celestial)상에서 기준선으로부터의 각도, 즉 시경(時經)을 계산하는 과정으로, 여기서는 적도와 황도(ecliptic)이 만나는 지점으로부터 돌아간 태양의 각도에 해당한다. 열 번째 프로세스는 태양의 편차를 의미하는 것으로 천체적도(celestial equator)로부터 떨어진 각도를 계산한다. 열한 번째 프로세스는 항성시간, 관측자의 지리좌표 계상의 경도, 시경(時經, sun right ascension)을 이용하여 관측자의 지방시간각(local hour angle)을 구한다. 열두 번째 프로세스에서는 시경(時經, sun right ascension)을 지표상에서 관측자 중심 좌표계(topocentric coordinate system)상에서 구한다. 열세 번째 프로세스는 관측자 중심 좌표계상에서 지방시간각(local hour angle)을 구한다. 열네 번째 프로세스는 고도에 따른 대기굴절을 고려하여 관측자 중심 좌표계상에서 태양의 천정각(zenith angle)을 계산한다. 열다섯 번째 프로세스는 관측자 중심 좌표계상에서 태양의 방위각을 계산한다. 열여섯 번째 프로세스는 임의의 방향을 향하고 있는 타깃표면에 입사하는 태양의 입사각을 계산한다.

본 연구에서 사용한 알고리즘은 기존의 태양 각 계산법의 정확도 차이는 천정 각이  $90^\circ$ 에 가까울수록, 태양 고도 각이  $0^\circ$ 에 가까울수록 더 커지고 있다. 아래의 Fig. 3.은 태양의 천정각의 정확도가 천정각의 코사인 값

의 함수로 이루어진 일사량(solar irradiance)에 미치는 영향력을 보이고 있다. 즉, 기존 태양 각 계산법의 정확도인  $\pm 0.01^\circ$ 를 적용했을 때와 본 연구에서 사용된 알고리즘의  $\pm 0.0003^\circ$ 의 정확도를 적용했을 때의 부정확성 정도를 보이고 있다. Fig. 3.에서 x 축은 태양 천정 각을, y 축은 부정확성을 나타내고 있다. 또한 x 표시는 기존의 방식을, O 표시는 본 논문에서 사용된 방식이다. Fig. 3.에서 보는 바와 같이 각도가 90도에 가까울수록 그 부정확성이 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수가 있다.  $\pm 0.01^\circ$ 를 적용했을 때 각도가 87°에서 코사인 값의 부정확성은 0.7%를 보이고 있으나 사용된 알고리즘을 적용했을 때는 거의 0에 가까운 것을 알 수 있다. 상당히 넓은 지역에 걸쳐 분포하고 있는 방음벽에 태양광 패널을 설치하여 연간 발전량을 추정 시에는 이러한 수치들이 상당한 오차를 불러올 수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 보다 정밀한 태양 각 계산 알고리즘의 우수성을 알 수 있다.

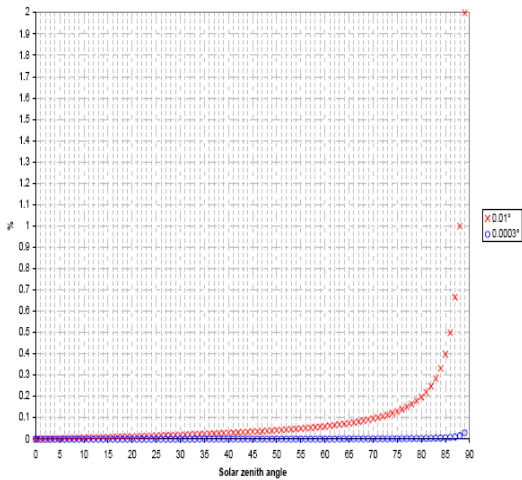


Fig. 3. Cosine value inaccuracy applying  $\pm 0.01^\circ$  accuracy and  $\pm 0.0003^\circ$  accuracy

### 3. DSM 기반의 설치 후보지 그림자 생성여부 판단

앞의 Fig. 1에 제시된 바와 같이 선택된 SIPVS 설치 후보지 패널의 태양입사각을 계산하여 연간 발전량을 계산하기에 앞서 그 패널이 특정한 시간대에 주변의 지형 지물에 의해 태양이 가려져서 햇빛이 비치지 않는지를

판단하는 (태양광 입장의)폐색여부를 우선 고려하여야 한다. 특정 시간대에서 특정 패널이 폐색으로 판단될 경우, 동일 패널에 대해 다른 시간대를 적용한다. 만일 폐색이 아니라고 판단이 되면, 입사각을 고려하여 발전량을 계산하는 과정으로 넘어가게 된다. 폐색을 판단하는 알고리즘은 Youn and Kim (2008)의 엄밀 정사영상 제작을 위해 사용되는 폐색영역 탐지 기법[10]을 변형시켜 제작하였다.

본 연구에서 적용한 알고리즘에서 태양과 SIPVS패널 간의 시선을 가릴 수 있는 장애물의 각을 우리는 '가시각'이라 정의한다. 대기의 영향에서 오는 굴절현상을 무시한다면 시선은 직선이 된다. 그러므로 지상 투영된 시선을 따라, 대상 패널의 위치에서 가장 가까운 곳부터 가시각과 실제 입사각을 비교하여 폐색여부는 탐지될 수 있다. 지형지물(산과 같은 자연지형과 건물과 같은 인공지물)의 형상은 그리드 형식의 DSM으로 표현되었으며 각각의 셀은 실제 지상의 고도를 형상화한 고도 값을 갖는다.

본 논문에서는 태양으로부터 특정 SIPVS 패널의 폐색 여부를 결정하기 위해 다음의 과정을 제안한다. 첫째, "차단가능그룹"을 정하기 위한 직선의 식을 구한다. 차단가능그룹이란 특정시각에서의 태양으로부터 대상(관심)셀을 태양빛으로부터 가림(차단)으로써 폐색시킬 잠재적인 가능성이 있는 셀들의 집합으로 정의된다. 차단가능그룹은 대상 셀의 중심에서 태양으로 향하는 선을 지상으로 투영한 선이 지나는 모든 셀들로 이루어진다. 이를 정

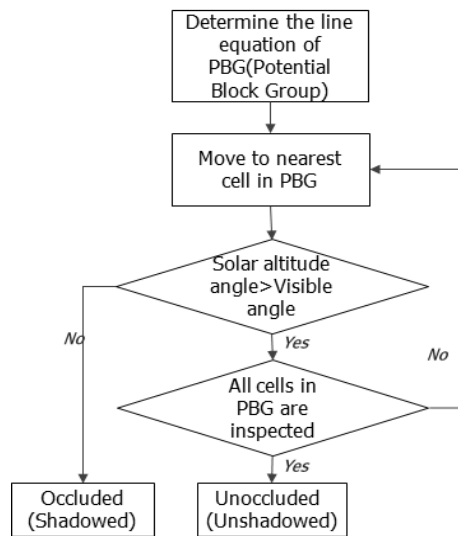


Fig. 4. Flowchart for determining shadow effect of point of interest

하기 위한 직선의 식은 대상 셀의 평면좌표와 태양의 고도 각을 이용하여 구한다. 둘째, 계산된 직선의 식을 이용하여 대상 셀로부터 가까운 첫 번째 차단가능그룹의 셀부터 가시각과 고도 각을 비교한다. 비교결과, 셀의 가시각이 고도각보다 낮을 경우, 대상 셀은 폐색되지 않은 것으로 인식되고 대상 셀과 그 다음으로 가까운 차단가능 그룹 셀의 가시각과 태양 고도 각을 비교한다. 가시각과 태양 고도 각을 비교하여 가시각이 고도 각 보다 높을 경우, 대상 셀은 폐색으로 인식되고 비교 프로세스를 중단한다. Fig. 4는 대상 셀의 폐색여부를 결정하기 위한 차단가능그룹의 직선 식 결정에서부터 폐색여부 결정까지의 과정을 순서대로 나타낸다.

Fig. 5와 6은 앞서 설명한 과정의 이해를 돕기 위한 예를 보여준다. Fig. 5는 차단가능그룹의 이차원적 시각을 보여주고, Fig. 6은 이를 이용하여 계산되는 대상 패널의 폐색여부(그림자 효과) 계산 콘셉트의 삼차원 시각을 보여준다. Fig. 5와 Fig. 6에서 대상 셀은 (x, y, z)로 표현된다. (x, y)에서 태양의 방위각을 따라 지나가도록 정의된 직선이 지나가는 모든 셀들은 차단가능그룹으로 정하여 지고 Fig.5에서 검은색으로 표현된다. 대상 셀로부터 가까운 순서대로 1부터 9까지의 번호를 주었다. 1번 셀의 가시고도는 직선과 셀 경계가 교차하는 (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>)에서 계산하며 i번째 셀의 가시고도 연산은 아래의 식 1과 같다.

$$H_{c_i} = \tan(\text{태양고도각}) \times \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (1)$$

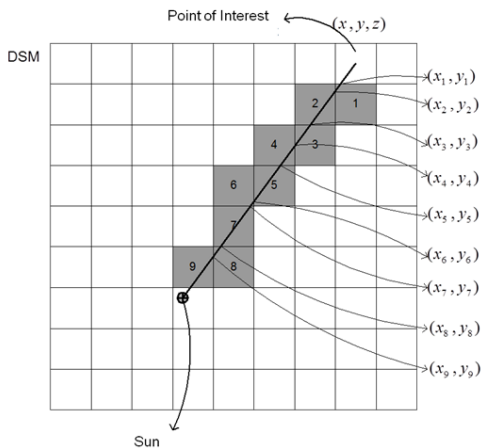


Fig. 5. 2D view of potential block group

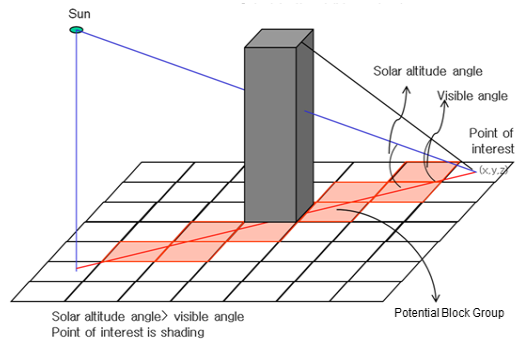


Fig. 6. 3D view of shadow effect calculation concept

### 5. 설치 후보지의 일사량 계산

SIPVS 모듈의 설치 적합지는 후보지역 중, 가장 많은 발전량을 생산해 낼 수 있는 지역이라 할 수 있다. 모듈에 입사되는 연간 총 일사량을 계산하여 전력량을 추정하는 방법은 아래의 식 (2)와 같다.

$$PV\text{발전량} = I_T \times A_{PV} \times E_{sys} \quad (2)$$

여기서 사용된 식의 설명은 아래와 같다.

- $I_T$ : PV모듈에 입사되는 총 일사량 ( $W/m^2$ )
- $A_{PV}$ : 태양전지 면적 ( $m^2$ )
- $E_{sys}$ : 시스템 효율 (%)
- $E_{sys} = \text{태양전지 효율} \times \text{온전온도영향} \times \text{배선손실} \times PV\text{적} \cdot \text{교류변환기 효율}$

$A_{PV}$ ,  $E_{sys}$ ,  $E_{sys}$ 는 적용되는 모듈에 따라 달라지는 계수 이므로 총 일사량  $I_T$ 만 구한다면 우리는 설치 후보지의 전력량을 계산할 수 있다. PV 모듈에 입사되는 총 일사량을 계산방법은 식 3과 같다. 일사량은 크게 천공 일사와 직달 일사로 구분되는데, 직달 일사량과 수평면 일사량에 대한 경사면 직달 일사량의 비율을 곱하고, 천공 일사량에 PV 모듈의 경사각에 따른 요소를 곱한 값을 합하면 PV 모듈에 입사되는 총 일사량을 구할 수 있다[11].

$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \quad (3)$$

여기서 사용된 식의 설명은 아래와 같다.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right)$$

$I_b$ : 직달 일사량 ( $W/m^2$ )

$R_b$ : 수평면 일사량에 대한 경사면 직달 일사량 비율

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

$\theta$ : 일사 입사각

$\theta_z$ : 태양고도각

$I_d$ : 천공 일사량 ( $W/m^2$ )

$\beta$ : 수평면에 대한 PV모듈의 경사각

윗 식에서 천공 일사와 직달 일사 값은 Table 1.을 이용하여 구한다. Table 1.은 서울지역의 기본이 되는 기상 데이터로 천공 일사와 직달 일사 값을 나타내고 있다. 이 표를 이용하여 날짜별, 시간별 일사량 계산이 가능하다. 제시된 표의 사이에 있는 값(예: 춘분과 하지 사이)은 보간법을 사용하여 계산한다.

Table 1. Meteorological data - Solar radiation (Source: [11])

	$I_d$ ( $W/m^2$ )			
	Spring equinox	Summer solstice	Autumn equinox	Winter solstice
8 am	114	129	112	63
9 am	138	158	145	110
10 am	146	159	158	121
11 am	156	169	171	135
12am	144	176	169	115
1 pm	155	160	141	127
2 pm	138	141	134	110
3 pm	124	151	126	75
4 pm	71	130	90	19
5 pm	21	85	27	0
6 pm	0	58	21	0
7 pm	0	18	0	0
Sum.	1,207	1,534	1,294	875
	$I_b$ ( $W/m^2$ )			
	Spring equinox	Summer solstice	Autumn equinox	Winter solstice
8 am	306	248	280	14
9 am	424	370	318	62
10 am	473	483	283	83
11 am	504	533	254	138
12am	509	482	282	185
1 pm	372	492	223	202
2 pm	203	512	253	159
3 pm	61	398	205	60
4 pm	23	293	82	9
5 pm	0	135	11	0
6 pm	0	27	0	0
7 pm	0	0	0	0
Sum.	2,875	3,973	2,191	912

## 6. 실험결과

본 연구에서는 서울에 위치한 가상의 도시구역 (1,040m X 1,040m)을 가정하고, 이 구역에서 총 아홉 개의 SIPVS 설치 후보지를 선정하여 연간 일사량을 계산, 비교함으로써 최적의 설치 위치를 선정하는 과정을 실험하였다. 실험에 쓰인 DSM은 항공 라이다 데이터로부터 취득되었다. 센서의 타입은 Optech1210이며 평균 촬영고도는 597미터이다. 데이터 타입은 포인트 클라우드 형태이며 계산 편의를 위하여 그리드 형태로 리샘플 되었다. 최초 데이터 취득 시 density는 평방 미터 당 1.8 포인트 이고 리샘플 ground sample distance 는 50cm 형태로 제작되었다. 사용된 데이터는 미국 인디애나 지역에 위치한 퍼듀 캠퍼스를 대상으로 취득된 데이터이며, 이 지역의 DSM이 서울시에 위치하였다는 가정 하에 실험을 수행하였다. 서울 시내 DSM 취득이 용이치 않아 부득이 미국 지역의 DSM을 사용하였으며, 향후 서울 DSM을 적용 시, 충분히 동일하게 적용될 것이다.

설치 후보지는 아래의 Fig. 7과 같이 블록 별로 총 아홉 개가 선정되었다. 일사량은 2015년 1월 1일부터 2015년 12월 31일까지 총 일 년 동안의 일사량이 계산 되었다. 방음벽의 높이는 5m, 각 패널은 1m의 폭을 가졌다고 가정하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 각각 후보지 1과 후보지 2의 연간 일사량 총량을 패널 별로 시각화 하였다. 그림에서 보듯이 한 구역(후보지)이라도 가로수의 유무에 따라 일사량의 차이가 드러났다. Fig. 10은 9개 후보지에 대한 일사량 총량을 패널 별로 시각화 한 그림이다. 각 후보지의 1개 패널 당 평균 일사량을 비교한 결과 많은 일사량을 받을 수 있는 후보지의 순서는 구역 5, 9, 7, 3, 4, 2, 1, 6, 8로 나타났다. 구역 별 평균 일사량은 Table 2.와 같다.

Table 2. Average solar radiation for each sector

Sector	Average Solar Radiation ( $W/m^2$ )
1	222
2	302
3	326
4	314
5	574
6	221
7	341
8	179
9	415





Fig. 7. Nine SIPVS installation candidate sites



Fig. 8. Annual solar irradiation visualization for each panel in candidate site number 1



Fig. 9. Annual solar irradiation visualization for each panel in candidate site number 2



Fig. 10. Annual solar irradiation visualization for each panel in nine candidate sites

## 7. 결론

본 논문에서는 방음벽일체형 태양광발전시스템의 최적 설치위치를 결정하기 위한 알고리즘을 개발하고 개발된 알고리즘을 SW로 구현하였다. 지상의 삼차원 좌표와 패널의 평면 벡터를 입력하여 태양의 고도각, 방위각, 패널 입사각을 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 각 지점 별 주변 대상물을 고려한 그림자 생성여부 판단 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 바탕으로 SW 형태의 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 실험 대상지는 서울지역을 선정하였으며, 미국 인디애나 지역의 DSM이 서울에 있다고 가정하였다. 제안된 대상지에 대한 아홉 개의 후보 지역을 선정하고, 후보 지역 별 1m x 5m의 패널을 설치한다고 가정하였다. 1년간의 태양 위치 별 태양광 패널 일사량을 계산한 결과 총 아홉 개 지역의 평균 패널 당 일사량을 계산할 수 있었으며 그 결과에 따라 방음벽 설치 후보지의 우선순위를 결정할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 방음벽 일체형 태양광 발전 시스템뿐만 아니라 건물의 낮은 곳에 설치할 BIPV의 적합성 분석 및 기대발전량 계산 등에도 활용될 수 있을 것이다.

## References

- [1] K. Kim, "A Study on the Computer-Aided Solar Rights Analysis", JOURNAL OF THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY, Vol. 12, No. 3 pp. 1-9, 1992. <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO199221961298798.do>
- [2] Y. Kim, "Development and Application of Shadow Areas Calculation Algorithm for Analysis of Solar Access and Irradiance", Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 15, No. 2 pp. 197-205, 2013. <https://www.earticle.net/Article/A200147>
- [3] Y. Seong, J. Lim, M. Yeo, I. Goh, K. Kim, "HELIOS: Solar right analysis system for apartment buildings", Solar Energy, Vol. 80, No. 6 pp. 723-741, 2006. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038092X0600003X>
- [4] J. Hwang, K. Ahn, H. Lim, "The highest spot selection of the domestic for MW class PV system which uses Solar pro adoption", The proceedings of KSNRE annual conference, pp. 292-294, 2007. <http://www.koreascience.or.kr/article/CFKO200727465741250.do>
- [5] S. Lee, J. Lee, "SysML-Based System Modeling for

- Design of BIPV Electric Power Generation”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 10 pp. 578-589, 2018.  
<https://dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07553770>
- [6] M. Blanco-Muriel, D. C. Alarcon-Padilla, T. Lopez-Moratalla, “Computing the Solar Vector”, Solar Energy. Vol. 70, No. 5 pp. 431-441, 2001.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038092X00001560>
- [7] J. J. Michalsky, “The Astronomical Almanac’s Algorithm for Approximate Solar Position (1950-2050)”, Solar Energy Vol. 40, No. 3 pp. 227-235, 1988.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S038092X8890045X>
- [8] M. Iqbal, “An Introduction to Solar Radiation”, Elsevier Inc., New York, pp. 23-25, 1983.
- [9] The U.S. Naval Observatory, Washington, DC, <http://www.usno.navy.mil/> (accessed Nov. 10, 2019)
- [10] J. Youn, G. Kim, “Visible Height Based Occlusion Area Detection in True Orthophoto Generation”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 28, No. 3D pp. 417-422, 2008.  
<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200830265652417.page>
- [11] S. Hong, A. Choi, “A Study on the Analysis of Solar Radiation on the Building Facade”, The proceedings of KIIEE autumn conference, pp. 105-108, 2010.  
[https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01543310&language=ko\\_KR](https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01543310&language=ko_KR)

윤 준 희(Junhee Youn)

[중신회원]



- 1998년 8월 : 연세대학교 토목공학(공학석사)
- 2006년 8월 : Purdue University, Dept of Civil Eng. (Engineering Ph.D)
- 2007년 5월 ~ 2012년 1월 : 삼성 SDS 수석컨설턴트
- 2012년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

GIS, Feature Extraction, ISP