



## 수평면 전일사량 예측법에 따른 BIPV 패널 경사면의 전일사량 비교 및 검증 연구

## Comparison and Verification of Total Solar Irradiance on Inclined Surface of BIPV Panel According to Global Horizontal Solar Irradiance Prediction Method

김사겸\* · 도신영\*\* · 이용준\*\*\*

Kim, Sa-kyum\* · Do, Sin-Young\*\* · Lee, Yong-Jun\*\*\*

\*BEL Technology CO. Ltd., Seoul, Korea (sakyum@beltec.co.kr)

\*\*BEL Technology CO. Ltd., Seoul, Korea (dosiny@beltec.co.kr)

\*\*\*Corresponding author, BEL Technology CO. Ltd., Seoul, Korea (leeyj@beltec.co.kr)

## ABSTRACT

**Purpose:** It is very important issue to reduce energy consumption in worldwide. Especially, building sector accounts for a large portion in whole energy consumption. In order to reduce energy, application of renewable energy system is essential and using BIPV system is the most efficient method for saving energy in case of Korea. Aim of this study is to develop prediction method of total solar irradiance on inclined surface of PV panel and to verify the method through comparison with real measurement data. Results of this study will be utilize for implementation of Optimal BIPV system design at early design stage which is final objective. **Method:** First, this study develop two methods to predict total solar irradiance on Inclined surface of PV panel which utilize different calculation method of horizontal solar radiance and conduct adequacy review through comparison analysis with real yearly solar irradiance data which is measured by Mock-up Facility **Result:** The results show that the modified prediction method improve prediction performance of total solar irradiance on inclined surface comparing with existing method. the modified method decrease error range between real measured results and predicted results.

## KEYWORD

일사량 예측 방법  
PV패널 경사면의 전일사량  
BIPV 시스템

Solar irradiance prediction  
Total solar irradiance on Inclined surface  
of PV panel  
BIPV System

## ACCEPTANCE INFO

Received Dec 3, 2017

Final revision received Dec 18, 2017

Accepted Dec 18, 2017

© 2018 KIEAE Journal

## Nomenclature

$h$	: 태양 고도
$\alpha$	: 태양 방위각
$I_g$	: 경사면의 전일사량 ( $W/m^2$ )
$I_{sd}$	: 경사면의 직달일사량 ( $W/m^2$ )
$I_{ps}$	: 경사면의 천공일사량 ( $W/m^2$ )
$I_{gr}$	: 지표면 반사일사량 ( $W/m^2$ )
$I_{dn}$	: 법선면의 직달일사량 ( $W/m^2$ )
$I_d$	: 수평면 직달일사량 ( $W/m^2$ )
$I_h$	: 수평면 전일사량 ( $W/m^2$ )
$\theta$	: 경사면의 입사각
$\phi$	: 경사면의 경사각
$K_t$	: 대기 투명도 계수

## 1. 서론

## 1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 에너지 저감 및 온실가스 감축을 위한 관심과 규제가 급증하고 있으며, 이에 따라 각 국에서는 에너지 소비를 줄이기 위한 정책 시행 및 기술개발에 노력을 기울이고 있다. 국내의 경우 마찬가지로 에너지 소비 저감이 중요한 문제로 거론되고 있으며 특히 건물 에너지 소비는 전체 에너지 소비량 중 20% 이상을 차지하고

있는 것으로 나타나 건물 에너지 저감을 위한 범규마련 및 기술 개발이 진행되고 있다.

정부에서는 건물 냉난방 에너지 90% 절감을 목표로 설계범규 기준 강화, 공공 건축물의 신재생 에너지 시스템 설치 의무화 등 다양한 방법으로 에너지 절감 계획을 시행하고 있다. 이러한 이유로 건물 에너지 절감 및 효율화를 위한 연구 및 기술개발이 산업 전반적으로 이루어지고 있지만 목표 절감량을 달성하기 위해서는 대체 에너지 원인 신재생 에너지 시스템 보급이 필요하며 국내 환경조건에서는 BIPV 시스템이 가장 효과적인 신재생 시스템으로 활용이 가능하다. 하지만 건물의 실제적인 에너지 소비에 대응이 가능한 효율적인 BIPV 시스템의 적용을 위해서는 초기 설계 단계에서 건물의 에너지 소비량 산정은 물론 기후환경, 설치조건 등을 고려한 발전량 예측을 통한 설계 계획 수립이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 BIPV 설계 계획 수립의 기초 데이터인 PV 패널면에 사입되는 실질적 일사량의 예측 방법을 선정하고 이를 반영하여 예측되는 일사량을 실측 결과와 비교 검증하여 선정된 예측 방법의 적정성 검토하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 먼저 경사면 전일사량은 표면의 직달일사량, 천공 일사량, 지표면 반사 일사량의 합산량을 기준으로 하였다. 3가지 일사량은 수평면 전일사량, 법선면의 직달 일사량, 수평면의 천공일사

량을 이용하여 예측이 가능하며 본 연구에서는 기존의 태양고도만을 이용한 일사량 예측 방법과 해당 지역의 기상 요소를 고려한 예측식의 결과를 실측 결과와 비교하였다. 본 연구에서 사용한 실측 데이터는 실제 PV 모듈 설치 경사 및 설치향에 따른 사입 일사량과 PV 발전량의 측정이 가능한 Mock-up 테스트 시설에서 실측되었으며, 본 Mock-up 테스트 시설은 일사량 측정에 영향을 미치는 주변의 환경 영향(인접 고층건물 유무, 외부 조명등의 부하요소 등)을 최소화 할 수 있는 한국생활환경시험연구원(서산) 영내에 시설이 구축되었으며 지붕 및 벽 입면부위에 PV 모듈의 설치 방위, 패널 설치 각도에 따라 총 25가지 Case의 경사면에 대한 연간 전일사량 및 발전량 측정이 가능하다. 측정된 데이터는 예측 방법에 의해 도출된 결과와의 오차 분석 등 비교 검증을 통해 일사량 예측방법의 적정성을 판단하는데 활용하였다.

## 2. 경사면의 일사량 예측 방법

### 2.1. 연간 태양위치 산출

일사량의 경우 지역의 위치 및 PV패널의 설치 조건 등과 같은 일조 환경에 따라 경사면에 입사하는 일사량이 결정되며 이는 BIPV 전력 생산성에 근본적인 영향을 미치게 된다. 또한 경사면의 전일사량 산출을 위해서는 연간의 태양 고도 및 방위각 산출이 필수적이다. 태양 고도( $h$ )와 태양 방위각( $\alpha$ )은 일적위( $\Delta$ ), 위도( $Lat$ ), 태양 시간각( $Sta$ )을 이용하여 계산하게 되며 산출식은 다음과 같다.

#### (1) 태양고도( $h$ ) 산출 방법

$$h = \text{atan}(\text{sunalmid} / \sqrt{-\text{sunalmid} \cdot \text{sunalmid} + 1}) \dots\dots [1]$$

$$\text{sunalmid} = \cos(Lat) \cdot \cos(\Delta) \cdot \cos(Sta) + \sin(Lat) \cdot \sin(\Delta) \dots\dots [2]$$

#### (2) 태양방위각( $\alpha$ ) 산출 방법

$$\alpha = c1 \cdot c2 \cdot \text{azmid}1b + c3 \cdot (1 - c1 \cdot c2) \cdot 90 \dots\dots [3]$$

$$\text{azmid}1b = \text{atan}(\text{azmid}1a / \sqrt{-\text{azmid}1a \cdot \text{azmid}1a + 1}) \dots\dots [4]$$

$$\text{azmid}1a = \sin(Sta) \cdot \cos(\Delta) / \sin(90 - \gamma)$$

$$\begin{cases} \text{azmid}1a \leq -1 \text{ 이면, } \text{azmid}1a = -0.99999 \\ \text{azmid}1a \geq 1 \text{ 이면, } \text{azmid}1a = 0.99999 \end{cases}$$

여기서,  $c1, c2, c3$ 은 태양시간각 조건에 따른 상수

### 2.2. 수평면 일사량 예측 방법

PV 패널 경사면에 입사하는 전일사량( $I_g$ )은 먼저 경사 표면의 직달일사량( $I_{sd}$ ), 천공일사량( $I_{ps}$ ), 지표면 반사 일사량( $I_{gr}$ )에 의해 결정되며, 이를 산출하기 위해서는 수평면의 전일사량( $I_h$ ), 법선면의 일사량( $I_{dn}$ ), 수평면 천공일사량( $I_d$ ) 산출이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 태양 고도에 따른 수평면 일사량 예측법과 기상요소를 반영한 수평면 일사량 예측 방법 두 가지를 사용하여 일사량을 예측하고 이를 실측 데이터와 비교하여 두 가지 방법의 정확도를 검증하였다.

#### (1) 일조율을 이용한 수평면 일사량 예측 방법(Alt.1) [4]

본 예측 방법의 특징은 일사량과 일조율은 비례 관계를 갖는다는 점을 고려하여 일조율(일조시간)에 따른 수평면의 전일사량의 예측하는 방법이며, 수평면 천공일사량 및 법선면의 일사량은 태양고도를 이용하여 예측하는 것으로 산출식은 다음과 같다.

##### ① 수평면 전일사량( $I_h$ ) 산출 방법

$$I_h = I_{h,SD_h=0} \cdot (1 - SD_h) + I_{h,SD_h=1} \cdot SD_h \dots\dots [5]$$

여기서,  $I_h$  : 수평면 전일사량

$I_{h,SD_h=0}$  : 시각별 일조율이 0일 때의 일사량

$I_{h,SD_h=1}$  : 시각별 일조율이 1일 때의 일사량

$SD_h$  : 시각별 일조율

##### ② 법선면 일사량( $I_{dn}$ ) 산출 방법

$$I_{dn} = 910 \cdot (\sin(h)) + 0.25 \cdot [910 \cdot \sin(2h)] \dots\dots [6]$$

##### ③ 수평면 천공일사량( $I_s$ ) 산출 방법

$$I_d = I_{dn} \cdot \sin(h) \dots\dots [7]$$

$$I_s = I_h - I_d \dots\dots [8]$$

#### (2) 기상요소를 반영한 수평면 일사량 예측 방법(Alt.2)

본 예측방법은 지역의 Alt1과 달리 기후조건을 직접 반영하여 수평면 전일사량을 예측하며 대기청명도( $K_t$ )를 이용하여 천공 일사량과 직달 일사량을 도출한 후 법선면 일사량을 계산하는 것으로 Alt1과 달리 법선면 일사량과 수평면 천공일사량 도출시 천공조건이 반영되며 일사량의 도출 방법, 순서, 필요 기상요소 등에 차이가 있으며 일사량 산출 수식은 다음과 같다.

##### ① 수평면 전일사량( $I_h$ ) 산출 방법 (Zhang and Huang Model) [6]

$$I_h = \left[ I_0 \cdot \sin(h) \cdot \left\{ C_0 + C_1 \cdot (CC) + C_2 \cdot (CC)^2 + C_3 \cdot (T_n - T_{n-3}) + C_4 \cdot \varphi + C_5 \cdot V_w \right\} + d \right] / k \dots\dots [9]$$

여기서,  $I_0$  : 태양상수(=1355W/m<sup>2</sup>)     $h$  : 태양고도 (°)

$C_0$  : 0.5598     $C_1$  : 0.4982     $C_2$  : -0.6762     $C_3$  : 0.02842

$C_4$  : -0.00317     $C_5$  : 0.014     $d$  : -17.853     $k$  : 0.843

$T_n$  : n시간의 외기온(°C)     $T_{n-3}$  : n-3시간의 외기온(°C)

CC : 운량 (0~10)     $\varphi$  : 상대습도(%)     $V_w$  : 풍속(m/s)

##### ② 직산분리를 이용한 법선면 일사량( $I_{dn}$ ) 산출 방법 (Liu and Jordan model) [6]

$$I_{dn} = I_d / \sin(h) \dots\dots [10]$$

③ 수평면 천공일사량( $I_s$ ) 산출 방법

$$I_d = I_h - I_s \dots\dots\dots [11]$$

$$0 < K_t < 0.3 \text{ 일 때, } \frac{I_s}{I_h} = 1.020 - 0.254K_t + 0.0123\sin(h)$$

$$0.3 < K_t < 0.78 \text{ 일 때, } \frac{I_s}{I_h} = 1.400 - 1.7949K_t + 0.177\sin(h)$$

$$0.78 < K_t \text{ 일 때, } \frac{I_s}{I_h} = 0.486K_t - 0.182\sin(h)$$

2.3. 경사면의 전일사량 예측 방법

앞서 도출된 태양 고도 및 방위각과 각각의 예측방법에 따라 산출된 수평면 일사량을 이용하여 특정 경사면의 전일사량 예측 방법은 다음 수식과 같다.

$$I_g = I_{sd} + I_{ps} + I_{gr} \dots\dots\dots [12]$$

(1) 경사면 직달일사량( $I_{sd}$ ) 산출 방법

$$I_{sd} = I_{dn} \cdot \cos(\theta) \dots\dots\dots [13]$$

$$\cos\theta = \sin(h) \cdot \cos(\phi) + \cos(\alpha - \epsilon) \cdot \cos(h) \cdot \sin(\phi) \dots [14]$$

$$I_{dn} = I_d / \sin(h) \dots\dots\dots [15]$$

여기서,  $I_{dn}$ : 법선면의 직달 일사량(W/m<sup>2</sup>),  $\theta$ : 경사면의 입사각(°)  
 $\phi$ : 벽면의 경사각(°),  $h$ : 고도각(°)

(2) 경사면 천공일사량( $I_{ps}$ ) 산출 방법

$$I_{ps} = I_s \cdot \frac{1 + \cos(\phi)}{2} \dots\dots\dots [16]$$

여기서,  $I_s$ : 수평면 천공일사량(W/m<sup>2</sup>)

(3) 지표면 반사일사량( $I_{gr}$ ) 산출 방법

$$I_{gr} = \rho \cdot I_h \cdot \frac{1 - \cos(\phi)}{2} \dots\dots\dots [17]$$

여기서,  $I$ : 수평면 전일사량(W/m<sup>2</sup>),  $\rho$ : 지표면 반사율

3. 실측 일사량 및 발전량

3.1. 일사량 실측 Mock-up 시설 개요

비교검증을 위한 실측 데이터를 위해 구축된 Mock-up 시설은 충남 서산에 위치해 있으며 다양한 향과 경사면에 대한 실질적인 일사량 측정을 위하여 다음의 그림과 같은 형태로 구축되어 동일한 일시에 다양한 조건의 일사량을 측정 비교할 수 있도록 구축되어 있다. 다음의 Tabel 1은 mock-up 시설의 개요를 정리한 것이다.



Fig. 1. Mock-up Facility

Table 1. Information of Mock-up

Location	Longitude	126.58°
	Latitude	37.34°
	Time zone	GMT +9h
	Area	238.4 m <sup>2</sup>
Building	Wall	Dry wall + PV panel
	Roof	Light weight steel + PV panel

3.2. 측정 조건

본 연구에서는 앞서 설명한 일사량 실측 설비를 활용하여 PV 모듈의 설치 방위 및 설치 각도에 따른 일사량 및 발전량 변화를 알아 보기 위해 총 25가지 조건에서 일사량 및 발전량 측정을 실시하였으며, 이중 실측된 일사량을 활용하였다.

일사량 측정기간은 2016년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지 1년간 측정 데이터를 이용하여 분석을 실시하였다. 측정 데이터는 시간별 일사량 및 발전량 측정하였고 방위 및 설치 각도 조건 조합에 따른 15가지 Case의 일사량 측정 및 분석을 실시하였다.

Table 3. Installation condition of each measurement case

Case.	Orientation	Inclined angle	Case.	Orientation	Inclined angle
1	East	3°	9	South	90°
2	East	30°	10	SouthWest	3°
3	East	90°	11	SouthWest	30°
4	SouthEast	3°	12	SouthWest	90°
5	SouthEast	30°	13	West	3°
6	SouthEast	90°	14	West	30°
7	South	3°	15	West	90°
8	South	30°	-	-	-

4. 측정 및 예측결과 비교 분석

4.1. 비교 분석 방법

2016년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지의 측정된 경사면 일사량 데이터를 이용하여 예측방법에 의한 결과와 비교 분석하였다. 단, 측정 결과의 경우 일부 기간에서의 측정 오류 및 측정 설비의 문제로 인해 연속적인 측정이 되지 않았다. 따라서 본 분석에서는 시간대별 일사량 비교를 통해 수평면 일사량 예측 방법이 상이한 두 가지 경사면 일사량 예측 결과와 실제 측정 결과를 비교 하였으며 MBE(Mean Based Error), CVRMSE(Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error)를 이용하여 측정과 예측결과의 오차를 분석하였다.

4.2. 일사량 실측과 예측 결과 비교 및 오차 분석

분석 대상 Case를 기반으로 일사량 예측 방법의 적정성을 판단을 위한 비교 분석을 실시하였다. 실측 결과와 비교하는 예측 방법별 결과는 다음의 두 가지로서 첫 번째, 태양 고도를 이용한 수평면 일사량 산출 방법(Alt.1)에 의한 경사면 일사량 예측 결과와 두 번째, 기상 요소를 반영한 수평면 일사량 산출 방법(Alt.2)을 이용해 경사면 일사량 예측 결과이다. Table 4.~8.은 산출방법에 따른 측정 기간동안의 연간 시간대별 경사면 전일사량 예측결과와 실측 결과를 나타낸 것으로 해당 경사면 결과에 대한 오차 지표 분석 내용을 함께 정리하였다. 비교 결과 전반적으로 Alt.1보다 Alt.2 방법의 예측결과가 실측 결과와 비교해 유사한 경향이 나타나는 것으로 나타났으며, 방위별로도 다소간 오차의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

동향으로 설치된 패널의 설치 각도에 따른 경사면의 전일사량 비교 결과, 연간 시간대별 경사면 전일사량 변화는 Alt.2가 Alt.1 과 비교하여 실측결과와 상대적으로 높은 유사성이 나타났다. MBE, CVRMSE 오차 분석 결과 경사면 90도 조건의 MBE 결과를 제외한 모두 부분에

서 Alt.2 결과가 실제 측정 결과와의 오차율이 적은 것으로 나타났다.

Table 4. Comparison of measured irradiance with estimated irradiance and error analysis(orientation: East)

Ang.	Chart	
3		
	Alt.1	MBE: 24.8    CVRMSE: 46.9
	Alt.2	MBE: 6.8    CVRMSE: 30.3
30		
	Alt.1	MBE: 20.5    CVRMSE: 58.1
	Alt.2	MBE: 6.2    CVRMSE: 37.9
90		
	Alt.1	MBE: 1.8    CVRMSE: 72.9
	Alt.2	MBE: 7.6    CVRMSE: 53.0

남동향으로 설치된 패널의 설치 각도에 따른 경사면의 전일사량 비교 결과, 동향 설치면의 일사량 비교 분석 결과와 마찬가지로 Alt.2가 연간 시간대별 경사면 전일사량 변화가 실측 결과와 비교해 유사한 경향을 나타냈다. 5개 방위 중 시간대별 데이터의 오차율이 가장 낮은 것으로 나타났으며, MBE, CVRMSE가 모든 조건에서 Alt.2 결과가 실제 측정결과와 비교하여 낮은 오차율을 나타내었다.

Table 5. Comparison of measured irradiance with estimated irradiance and error analysis(orientation: SouthEast)

Ang.	Chart	
3		
	Alt.1	MBE: 21.0    CVRMSE: 44.8
	Alt.2	MBE: 2.4    CVRMSE: 29.6

30		
	Alt.1	MBE: 26.6    CVRMSE: 51.6
	Alt.2	MBE: 0.8    CVRMSE: 32.1
90		
	Alt.1	MBE: 16.1    CVRMSE: 60.8
	Alt.2	MBE: 1.9    CVRMSE: 42.6

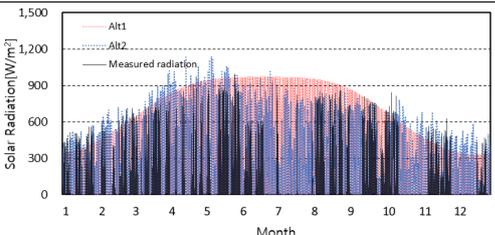
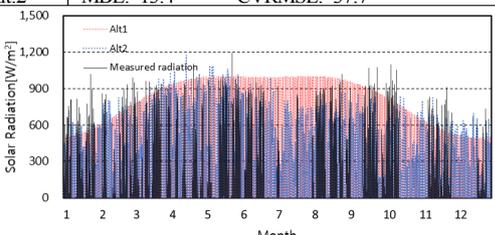
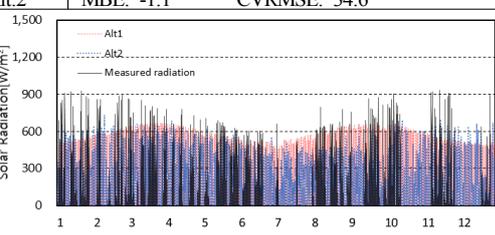
남향으로 설치된 패널의 설치 각도에 따른 경사면의 전일사량 비교 결과, Alt.1의 경우 다른 방위의 실측 결과 대비 실측 결과와 가장 유사한 경향이 나타났으나, MBE, CVRMSE 오차 분석 결과 AL.2 예측 결과가 보다 적은 오차율을 나타냈다. MBE 개선율은 남향 설치 패널 부분에서 가장 높게 나타났다.

Table 6. Comparison of measured irradiance with estimated irradiance and error analysis(orientation: South)

Ang.	Chart	
3		
	Alt.1	MBE: 22.5    CVRMSE: 45.9
	Alt.2	MBE: 3.3    CVRMSE: 30.4
30		
	Alt.1	MBE: 27.5    CVRMSE: 50.6
	Alt.2	MBE: -1.2    CVRMSE: 33.2
90		
	Alt.1	MBE: 11.9    CVRMSE: 51.2
	Alt.2	MBE: -5.2    CVRMSE: 39.9

남서향으로 설치된 패널의 설치 각도에 따른 경사면의 전일사량 비교 결과, Alt.2가 Alt.1 과 비교하여 실측결과와 유사한 경향이 나타났으며 경사면 3도의 경우 하절기 측정결과가 예측 결과와 비교하여 상대적으로 많은 차이가 나타내는 것으로 확인됐다. 경사각 90도 조건에서는 MBE, CVRMSE 분석 결과, 오히려 Alt.1대비 오차 감소가 없거나, 다른 방위, 경사각 조건에서의 보다 미미한 것으로 나타났다.

Table 7. Comparison of measured irradiance with estimated irradiance and error analysis(orientation: Southwest)

Ang.	Chart		
3			
	Alt.1	MBE: 33.6	CVRMSE: 56.0
	Alt.2	MBE: 13.4	CVRMSE: 37.7
30			
	Alt.1	MBE: 21.7	CVRMSE: 47.7
	Alt.2	MBE: -1.1	CVRMSE: 34.6
90			
	Alt.1	MBE: -0.5	CVRMSE: 50.0
	Alt.2	MBE: -9.5	CVRMSE: 44.0

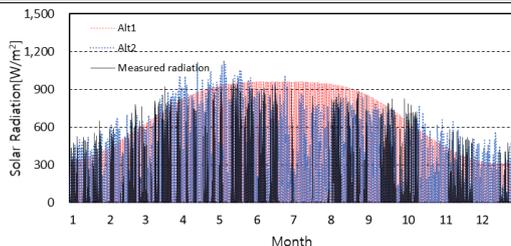
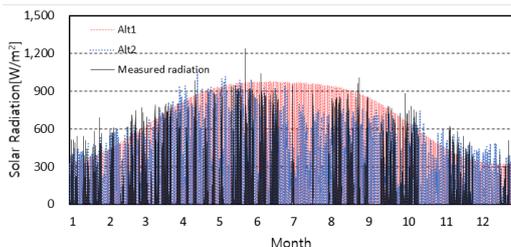
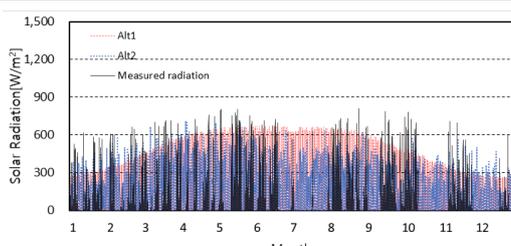
서향으로 설치된 패널의 설치 각도에 따른 경사면의 전일사량 비교 결과, 다른 방위의 비교 결과와 마찬가지로 Alt.2가 오차율이 개선되는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 앞에서 비교하였던 남서향 설치각도 90도 조건과 마찬가지로 서향 설치각도 90도 조건에서도 다른 조건과 비교하여 상대적으로 개선 효과가 적은 것으로 확인됐다.

MBE는 실측결과와 예측결과간의 차이의 합산을 이용한 오차 분석 방법이며, CVRMSE는 전체 데이터의 평균 수치로부터 개별 데이터의 오차 범위를 나타내는 것으로 두 가지 분석 수치 결과는 절대값이 0에 가까울수록 유효성 및 정확성이 높다고 할 수 있다.

두 가지 오차 분석 방법에 의한 결과의 절대값을 이용하여 일사량 예측 방법간의 오차율을 비교하였으며, 오차율의 개선은 첫 번째 일사량 예측방법(Alt.1) 대비 두 번째 일사량 예측방법(Alt.2)의 실측 결과와의 오차율을 비교한 것이다.

두 가지 오차 분석 방법을 이용한 적정성 검토 결과 기상요소를 이용하여 경사면의 전일사량을 예측하는 방법(Alt.2)이 태양고도를

Table 8. Comparison of measured irradiance with estimated irradiance and error analysis(orientation: West)

Ang.	Chart		
3			
	Alt.1	MBE: 21.0	CVRMSE: 46.8
	Alt.2	MBE: 3.9	CVRMSE: 33.1
30			
	Alt.1	MBE: 16.7	CVRMSE: 47.3
	Alt.2	MBE: 5.6	CVRMSE: 38.0
90			
	Alt.1	MBE: -4.1	CVRMSE: 56.1
	Alt.2	MBE: 8.1	CVRMSE: 51.4

이용한 예측방법(Alt.1)보다 오차율이 대체적으로 낮은 것으로 나타났다.

MBE는 대부분의 조건에서 실측 결과 대비 오차 범위가 줄어들어 개선효과가 있는 것으로 확인 되었으나 일부 설치 방위의 설치각도 90도 조건에서는 오히려 오차율이 커지는 것을 확인 할 수 있었다.

CVRMSE 분석 결과 모든 조건에서 두 번째 예측방법(Alt.2)의 오차율이 낮게 분석되었다. 하지만 MBE 결과와 마찬가지로 설치 경사각 90도 조건에서는 다른 조건 대비 오차율 저감이 크지 않게 나타났다.

ASHRAE 가이드라인에서는 실측결과와 예측결과의 MBE는 ±10%, CVRMSE는 30% 미만인 경우 예측 방법의 활용의 적정성이 있다고 판단하고 있다. 해당 기준에 따라, 각 Case별 적정성 판단 여부를 판단할 때 MBE 분석 결과는 대부분 기준을 만족하는 것으로 나타났으나 CVRMSE의 경우 Alt.2 방법을 적용하여도 대부분의 조건에서 ASHRAE 기준을 충족하지 못하고 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 다소 불안정한 실측 데이터에 기인하는 것으로 사료된다.



Fig. 2. Improvement rate of MBE



Fig. 3. Improvement rate of CVRMSE

## 5. 결론

본 연구에서는 BIPV 시스템의 효율적인 설계를 위해 두 가지 경사면 전일사량 예측 방법에 따른 결과를 실측 결과와 비교 분석하여 예측 방법별 적정성을 확인하였다. 이를 위하여 일사량 실측을 위한 Mock-up 시설에서 측정된 패널 설치 방위별 설치 경사각별 15가지 Case의 연간 일사량과 패널의 경사각도에 따른 연간 일사량을 예측방법에 의한 일사량 도출 결과를 비교 분석하였다. 분석 결과 도출된 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 예측방법을 이용한 경사면의 전일사량 결과와 실제 측정 데이터 비교 결과, 기상조건을 이용하여 일사량을 도출하는 예측방법(Alt.2)이 태양고도를 이용하는 예측방법(Alt.1)에 비하여 실측 결과와 보다 유사한 것으로 확인됐다.

단, 측정 결과의 경우 상당 시간 측정값 누락이 발생되거나, 짧은 시간동안의 측정값에서 편차가 크게 나타나는 등 측정 시 오류가 우려되는 데이터가 일정 부분 포함되어 있어서 예측 결과와의 오차율 증가가 실측의 오류에 기인하는 영향이 있는 것으로 판단되며, 이에 오차율의 절대값보다는 두 예측 방법과 실측 데이터간 오차율의 변화 경향을 기준으로 상호 상대 비교하여야 하는 한계가 있다.

(2) 예측 및 실측 일사량의 비교 결과, Alt.2 예측방법의 적용 시 오차범위를 줄일 수 있었으나, 일부 설치 조건에서는 동절기의 일사량 절대 수치 오차가 아직까지 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 따라서 실제 본 방법을 BIPV 설계 적용시 초기설계 단계 시간대별 건물의 필요 에너지 소요량 산출 및 계획 수립시 어려움이 있을 것으로 판단된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 후속 연구에서는 현재 예측모델의 수정 보완작업을 수행할 것이다. 본 연구에서 사용한 예측 모델의 경우 기존 연구에서 특정 지역을 대상으로 적용한 예측 모델의 형식

을 사용한 것으로 국내 기후의 특성을 반영한 적절한 보정작업이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

일부 방위에서는 경사각 90도에서 오차 범위를 줄이기 위한 원인 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

(3) 본 연구의 결과는 최종 목적인 BIPV 발전량 산출 및 최적 설계 방법 개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 경사면의 일사량 예측 방법을 이용하여 BIPV 발전량 도출한 후 실제 측정된 발전량과 비교를 통해 BIPV 최적 설계 방법에 적용 가능 여부를 검토해야 하며 분석 결과를 기반으로 오차 범위를 줄이기 위한 연구의 수행이 요구된다.

## Acknowledgements

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20143010011910).

## Reference

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, Korean quantified emission limitation reduction objects, 2015
- [2] Korea Energy Management Corporation, 2015 Korea Energy Handbook, 2016
- [3] Hideyo NIMIYA, Hiroshi AKASAKA, Yoh MATSUO and Kazuhiro SOGA, A Method to Estimate the Hourly Solar Radiation Using AMeDAS Data Part 2, Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.65, 1997, pp.53~65
- [4] Masanori Shukuya, Architectural environment of light and heat, 1993
- [5] Song, D.S, et al, Applicability of the Solar irradiance Model in Preparation of Typical Weather Data Considering Domestic Climate Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.28 (12), 2016
- [6] Zhang Q., et al, Development of Typical Year Weather Data for Chinese Locations, ASHRAE Transactions, Vol.108, 2002
- [7] Jeon, B.K, et al, Calculation Method for the Transmitted Solar irradiance Using the Total Horizontal irradiance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.29 (4), 2017
- [8] Fabrizio, E., et al, Methodologies and Advancement in the Calibration of Building Energy Model, Energies, Vol.8 (4), 2015
- [9] ASHRAE, Measurement of energy and demand saving, ASHRAE, 2012