

# 기상조건, 방위각 및 경사각에 따른 태양광발전시스템 출력 분석

이상혁 · 권오현 · 이경수\*

한국산업기술대학교 에너지전기공학과, 시흥시, 15073

## PV System Output Analysis Based on Weather Conditions, Azimuth, and Tilt Angle

Sang Hyuk Lee · Oh Hyun Kwon · Kyung Soo Lee\*

Department of Energy and Electrical engineering, Korea Polytechnic University, Siheung, 15073, Republic of Korea

**ABSTRACT:** PV system output is determined according to the weather conditions, the azimuth and tilt angle. Weather conditions are changing every moment and it seems to vary according to the daily, monthly, and annual basis. The azimuth and tilt angle is decided along the site conditions for the PV system installation. This paper analyzed the PV system output through the changing the weather conditions, the azimuth, and tilt angle. We compared the TMY data and analysis of the two major weather institutes which are KMA and METEONORM. PV system output trend were analyzed by changing the azimuth and tilt angle. We used simulation tool, which is named PVsyst for the entire PV system analysis.

**Key words:** PV system, weather conditions, typical meteorological year, azimuth angle, tilt angle, PVsyst

### Nomenclature

kWh/m<sup>2</sup> · day : 전 수평면 일평균 일조량  
MWh/year : 연간 PV시스템 발전량  
m/s : 초당 풍속

### Subscript

Global Irradiation : 전 수평면 일조량  
Temperature : 기온  
Wind velocity : 풍속  
TMY : 대표기후  
KMA : 기상청  
METEONORM : 독일의 사설 기상업체  
PVsyst : 스위스의 태양광발전시스템 프로그램

### 1. 서론

태양광발전시스템은 주로 태양으로부터 방출되는 태양에너지의 입사각도에 따라 시스템 효율의 성능이 크게 좌우되고 있다. 즉, 태양광을 에너지원으로 이용하고자 하는 경우에는 수광면의 최적 경사각을 구하는 것이 매우 중요하다<sup>1)</sup>.

태양광발전시스템을 한 지역에 설치할 경우, 우선적으로 고려해야 할 사항은 설치 지역의 기상조건을 고려하는 것이다. 연간 일조량과 기온, 풍속 등의 정보를 활용하여 사전에 예상 발전량을 확인하여야 한다. 또한, 설치하고자 하는 지역의 방위각 및 경사각을 고려하는 것도 중요한 요소이다.

태양광발전시스템은 정남을 기준으로 정하고 동서방향으로 방위각이 변화함에 따라 단위 면적당 일사량이 감소하고, 최적 경사각을 기준으로 그 각도가 변화함에 따라 단위 면적당 일사량이 감소하여 연간발전량에 영향을 미친다<sup>2)</sup>.

태양광발전시스템을 설치시에 사전에 발전량을 확인할 수 있는 방법은 컴퓨터 프로그램을 이용하는 것이다. 본 논문에서는 스위스 제네바 대학에서 개발한 PVsyst 프로그램을 이용하여 기상정보, 방위각 및 경사각에 따른 태양광발전시스템 출력을 분석하였다.

PVsyst 프로그램 내 기상정보는 독일의 기상업체인 METE-

\*Corresponding author: kyungsoolee@kpu.ac.kr  
Received February, 13, 2017; Revised February, 24, 2017;  
Accepted February, 27, 2017

ONORM 자료의 20년 대표기후(TMY)를 활용한다. 특히, METEONORM사는 전 세계에 있는 8,325개의 기상 관측소의 데이터를 DB 자료로 제공하고 있으며 우리나라는 서울, 강릉, 부산, 목포 등 총 4곳의 기상자료를 관측 및 DB 자료로 제공하고 있다.

본 논문에서는 PVsyst 프로그램 내 기상정보인METEONORM TMY 데이터의 적정성을 확인하기 위하여 국내 기상청(KMA) TMY 데이터와 비교한다. 이를 통해 PVsyst 내 적정한 기상정보를 이용하여 국내 4개 지역(서울, 강릉, 부산, 목포)에 대해 방위각을 -90°(정동)~+90°(정서)범위에서 10° 간격으로 변경하고, 경사각을 0°(수평)~90°(수직)범위에서 5°간격으로 변경하면서 최적방위각과 경사각에 따른 태양광발전시스템의 최적 연간 발전량을 살펴본다.

## 2. 본 론

### 2.1 대표기후(TMY) 선정 및 비교분석

#### 2.1.1 KMA TMY 선정

기후 관측 자료의 표본이 되는 TMY는 태양광발전시스템을 설치하고자 하는 지역에서 사전 발전량 확인을 위한 기초적인 방법이다. TMY 자료를 추출하기 위해서는 지역 기후에 관한 실제 자료를 수년 동안 시간 별로 측정하여야 하며<sup>3)</sup> 국내 기상청(KMA)은 30년 이상 축적된 기상 관측 자료를 제공하고 있다.

Fig. 1은 KMA에서 TMY를 선정하는 과정을 나타내며 기상청 자료 β년도 α월의 태양에너지가 KMA TMY 자료가 된다.

Table 1은 목포지역 TMY 자료를 나타내며 전 수평면 일평균 일조량, 기온 그리고 풍속 데이터를 보여준다. 또한, 이 데이터는 METEONORM에서 제공하는 데이터와 동일한 파라미터를 나타낸다.

#### 2.1.2 METEONORM TMY와 KMA TMY 비교

METEONORM에서 제공하는 20년 평균 TMY 데이터가 적정인지 확인하기 위하여 국내 기상청인 KMA에서 제공하는 20년 평균 TMY 데이터와의 비교 및 분석을 진행하였다.

Fig. 2~Fig. 4는 METEONORM TMY와 KMA TMY 20년 평균 파라미터 값을 비교한 결과를 나타낸다. 국내 4개 지역의 전 수평면 일평균 일조량, 기온 및 풍속 데이터의 METEONORM TMY와 KMA TMY의 오차는 1% 이내인 것을 확인하였다.

## 2.2 지역별 연간 발전량 분석

### 2.2.1 방위각과 경사각에 따른 비교

우리나라 4곳(서울, 강릉, 부산, 목포)에 대한 KMA TMY 값을 PVsyst 프로그램내 기상정보에 입력하여 가상의 1MW 태양광발전시스템을 대상으로 방위각과 경사각에 따른 연간발전

량, 손실, 성능계수 등을 확인하였다.

Table 2는 PVsyst 프로그램에서 사용하는 태양광발전시스템의 파라미터를 나타내며, 태양전지 모듈 200[Wp] 5000장과 인버터 200[kW] 4대를 사용하였다.

Fig. 5는 PVsyst 프로그램을 이용한 시뮬레이션 과정을 나타낸다. 서울, 강릉, 부산, 목포 등 4개 지역을 대상으로 경사각은 0°~90° 범위에서 5°씩 변경하였고, 방위각은 -90°~90° 범위에서 10°씩 변경하여 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션 결과 값은 PV array losses, PV system losses,

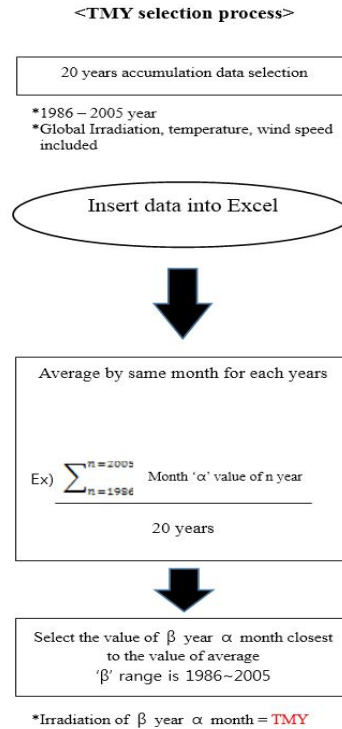


Fig. 1. KMA TMY selection process

Table. 1. Mokpo KMA TMY

Mokpo KMA TMY (1986-2005)			
Month	Global Irradiation (kWh/m <sup>2</sup> .day)	Temperature (°C)	Wind speed (m/s)
Jan	2.3	2.0	4.5
Feb	3.1	3.2	4.8
Mar	4.0	6.8	4.5
Apr	5.0	12.4	4.0
may	5.3	17.2	3.7
Jun	5.0	21.4	3.1
Jul	4.5	24.8	3.5
Aug	4.9	26.1	3.2
Sep	4.0	22.1	3.2
Oct	3.8	16.8	3.6
Nov	2.6	10.5	4.1
Dec	2.1	4.5	4.2
<b>Avg</b>	<b>3.9</b>	<b>14.0</b>	<b>3.9</b>

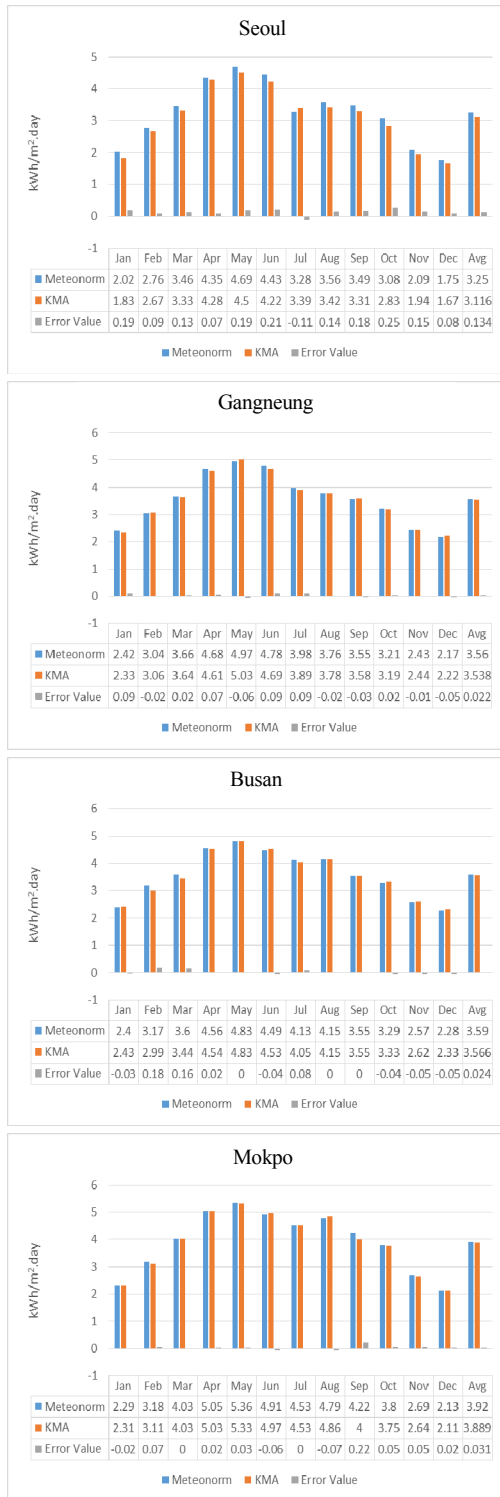


Fig. 2. Comparison graphs of global irradiation between METEONORM TMY and KMA TMY

Inverter output, Produced energy 그리고 Performance ratio 이며, 이 중에 연간 발전전력량(Produced energy)를 지역별로 확인하였다.

Fig. 6은 4개 지역에 대한 연간 발전 전력량을 나타내고 있으며, 연간 발전량이 가장 높은 곳은 목포 지역이고, 가장 작은 곳

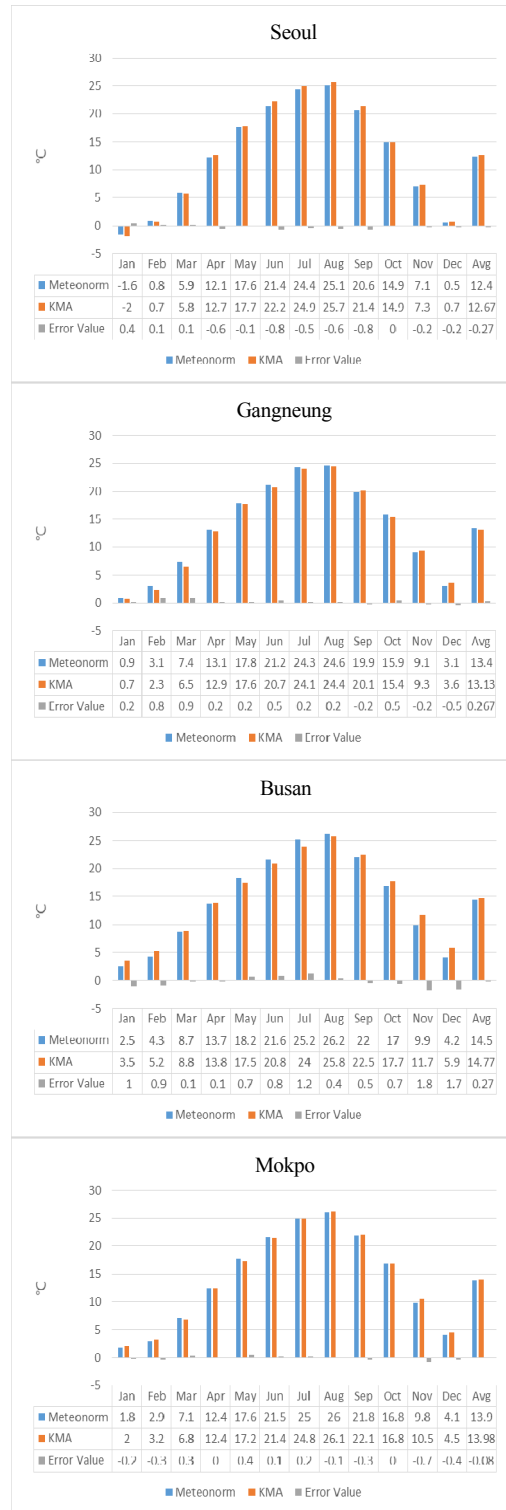


Fig. 3. Comparison graphs of temperature between METEONORM TMY and KMA TMY

은 서울 지역을 보여준다. 이 결과는 실제 일조량 TMY 모델에서 서울 지역의 전 수평면 일평균 일조량 값이 나머지 3곳에 비해 가장 작은 값에 기인함을 알 수 있다.

최적 경사각과 방위각에 있어서 경사각은 30도~35도, 경사각은 0도에서 발전량 값이 가장 크음을 알 수 있었다.

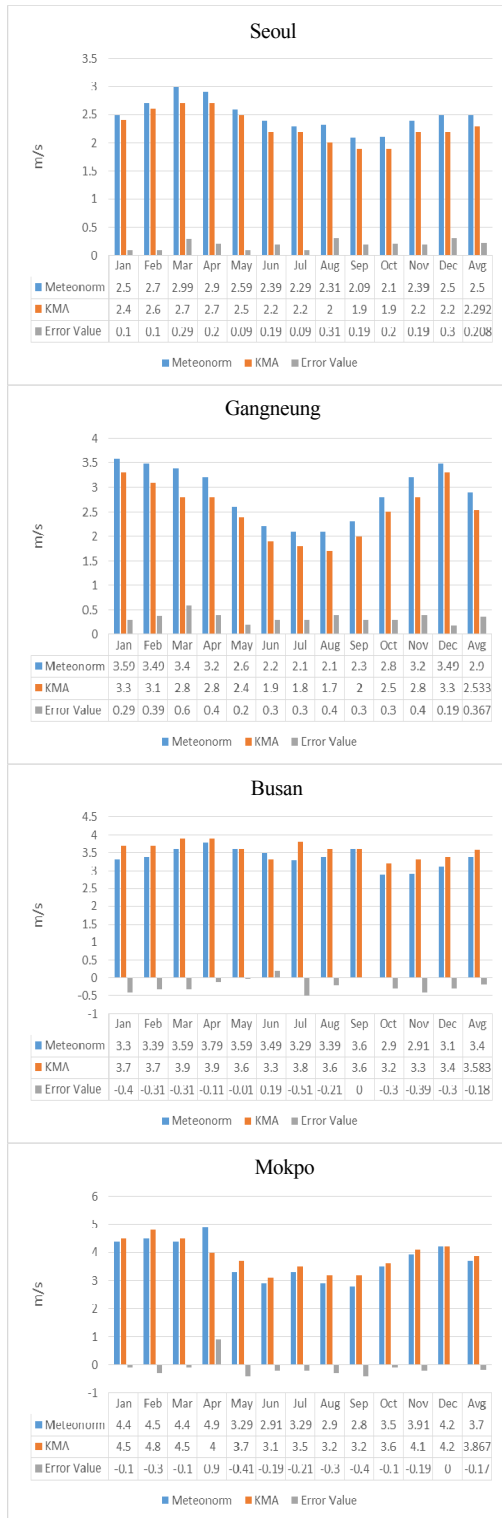


Fig. 4. Comparison graphs of wind velocity between METEONORM TMY and KMA TMY

2.2.2 최적 방위각과 경사각 분석

Fig. 7은 KMA TMY와 METEONORM TMY의 비교에서 국내 4곳의 방위각을 0°로 고정(방위각은 0도에서 발전량이 가장 크다는 것을 Fig. 6에서 확인하였음)한 후 경사각을 조정하여 연간 발전량 값을 나타낸다.

Table 2. PV power plant model parameters

Module	Hyundai 200[Wp] 23V Si-poly
Inverter	Dasstech 200[kW] 200-820[V] TL
Module configurations	10 series, 500 strings
Input power	1,000[kWp]
Number of modules	5000
Number of inverters	4

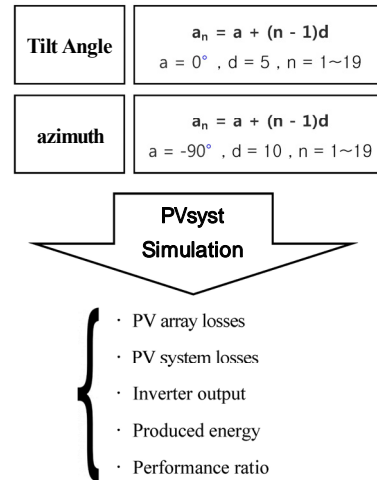


Fig. 5. PVsyst simulation process.

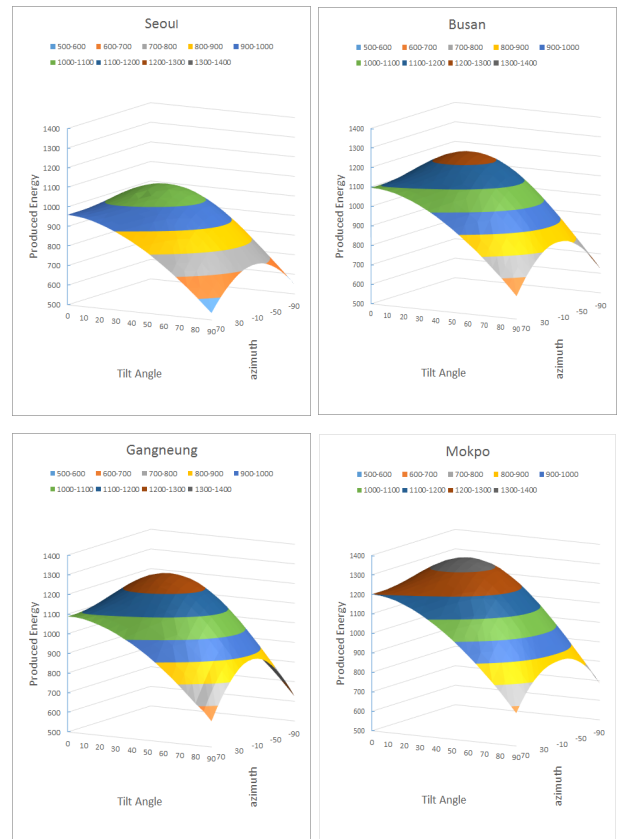
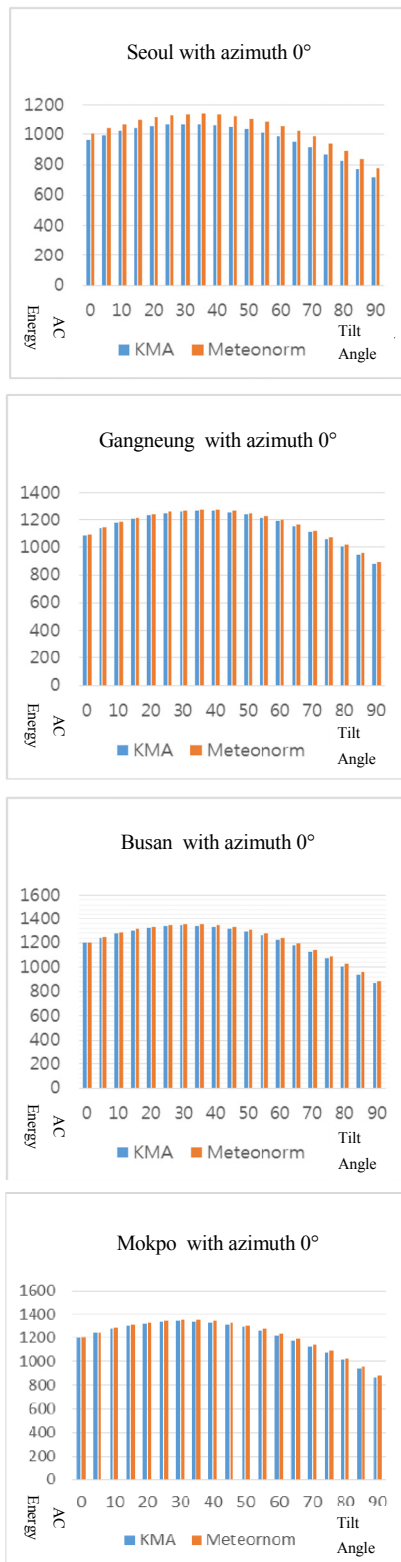


Fig. 6. Comparison graphs of the produced energy (AC power)-[MWh/year]



**Fig. 7.** Comparison graph of the KMA TMY and METEONORM TMY of the produced energy(AC)

최적 경사각은 이론적인 배경과 같이 지역별 위도와 비례하며 서울과 강릉에서 경사각이 35°에서 연간발전량이 각각 1,141[MWh/year], 1,279[MWh/year]로 가장 크다는 시뮬레이

션 결과값이 산출되었다.

부산과 목포의 경우에는 서울과 강릉보다는 위도가 낮은 반면 최적 경사각은 30°와 35°비슷하게 산출되었다. 부산지역에서는 35°에서 1,249[kWh], 30°에서는 1,248[kWh]로 경사각 35°에서 미소하게 높은 값이 출력되었다. 목포 지역에서는 경사각 30°와 35°에서 동일한 값인 1,355[kWh]로 산출되었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 기상조건, 방위각 및 경사각에 따른 태양광발전시스템 출력을 분석하였다.

기상조건은 대표기후(TMY) 자료를 이용하였고, PVsyst 프로그램에서 사용하는 METEONORM TMY의 데이터 적정성을 확인하기 위하여 국내 기상청(KMA) TMY와의 비교를 진행하였다. 그 결과, TMY간 오차가 1[%]이하임을 확인하였다.

최적방위각과 경사각을 확인하기 위하여 PVsyst 프로그램을 이용하여 국내 4곳(서울, 강릉, 부산, 목포 지역)을 대상으로 방위각은 정동(-90°)에서 정남(0°)을 거쳐 정서방향(+90°)까지 10도 간격으로 시뮬레이션 및 연간발전량을 확인하였고, 방위각 0°(정남) 방향에서 네 곳 모두 최대 연간발전량이 산출됨을 확인하였다.

경사각은 방위각 0°를 기준으로 90°까지 5°간격으로 시뮬레이션을 수행하였고, 서울과 강릉은 위도와 비례하여 35°에서 연간발전량이 산출됨을 확인하였다. 부산과 목포 지역은 최적 경사각이 30°와 35°에서 미소한 값의 차이를 보이거나 동일한 연간발전량을 확인하였다.

## Acknowledgments

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지공단(KEA)의 지원(G1020160501 0004)을 통해 수행한 연구 과제입니다.

## References

- Jo, D. K., "A Study on the Optimal Installation of Solar Photovoltaic System in Korea," J. of Korean Solar Energy Society, Vol. 24, No. 3, pp. 19-25, 2004.
- Choi, Y. G., "A Study on the Influence to Solar Radiation by Changing the Azimuth and Tilt of a Photovoltaic Array," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 5, pp. 712-716, 2013.
- Christiana Honsberg, Stuart Bowden., "PV CDRROM," Arizona State University, Chapter. 2, pp. 59-61, 2012.