

주성분분석에 의한 TMY 특성 비교분석

김신영* · 김창기** · 강용혁*** · 윤창열** · 장길수**** · 김현구****

*고려대학교 전기전자공학부, 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원·정책센터, 학연연구생
**한국에너지기술연구원 신재생에너지자원·정책센터, 선임연구원
***한국에너지기술연구원 신재생에너지자원·정책센터, 책임연구원
****고려대학교 전기전자공학부, 교수

Comparative Analysis on the Characteristic of Typical Meteorological Year Applying Principal Component Analysis

Kim Shin Young* · Kim Chang Ki** · Kang Yong Heack*** · Yun Chang Yeol** · Jang Gil Soo**** · Kim Hyun-Goo****

*School of Electrical Engineering, Korea University, New and Renewable Energy Resource & Policy Center, Korea Institute of Energy Research, Student Researcher
**New and Renewable Energy Resource & Policy Center, Korea Institute of Energy Research, Senior Researcher
***New and Renewable Energy Resource & Policy Center, Korea Institute of Energy Research, Principal Researcher
****School of Electrical Engineering, Korea University, Professor

†Corresponding author: hyungoo@kier.re.kr

Abstract

The reliable Typical Meteorological Year (TMY) data, sometimes called Test Reference Year (TRY) data, are necessary in the feasibility study of renewable energy installation as well as zero energy building. In Korea, there are available TMY data; TMY from Korea Institute of Energy Research (KIER), TRY from the Korean Solar Energy Society (KSES) and TRY from Passive House Institute Korea (PHIKO). This study aims at examining their characteristics by using Principle Component Analysis (PCA) at six ground observing stations. First step is to investigate the annual averages of meteorological elements from TMY data and their standard deviations. Then, PCA is done to find which principle components are derived from different TMY data. Temperature and solar irradiance are determined as the main principle component of TMY data produced by KIER and KSES at all stations whereas TRY data from PHIKO does not show similar result from those by KIER and KSES.

Keywords: 표준기상년(Typical meteorological year, TMY), 주성분분석(Principal component analysis, PCA), 건구온도(Dry bulb temperature), 수평면 전일사량(Global horizontal irradiance, GHI), 법선면 직달일사량(Direct normal irradiance, DNI)

기호설명

AD : 공기밀도 (kg/m^3)

AH : 절대습도 (kg/kg)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.3, pp.67-79, June 2019
<https://doi.org/10.7836/kjes.2019.39.3.067>

pISSN : 1598-6411
eISSN : 2508-3562

Received: 29 March 2019

Revised: 11 June 2019

Accepted: 19 June 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

- CA : 전운량 (10분위)
- DHI : 수평면 산란일사량 (Wh/m²)
- DNI : 법선면 직달일사량 (Wh/m²)
- ET : 엔탈피 (kJ/kg)
- GHI : 수평면 전일사량 (Wh/m²)
- HM : 상대습도 (%)
- PA : 현지기압 (hPa)
- PW : 강수량 (mm)
- PWR : 강우량 (mm)
- SC : 적설 (cm)
- TA : 건구온도 (°C)
- TD : 이슬점온도 (°C)
- TG : 지면온도 (°C)
- VP : 증기압 (hPa)
- WD : 풍향 (16방위)
- WS : 풍속 (m/s)

1. 서론

TMY(Typical Meteorological Year) 데이터는 장기기상 데이터베이스를 바탕으로 각 월마다 대표년을 선택하여 만든 1년간의 시간별 기상자료로 미국에서는 TMY, 유럽에서는 TRY(Test Reference Year)라고 명명한다¹⁾. TMY에 대한 개념은 Fig. 1과 같다. TMY 데이터는 수평면 전일사량, 법선면 직달일사량, 건구온도, 풍속 등 다양한 기상요소를 포함하며, 제작방법 및 형식에 따라 포함되는 기상요소에 다소 차이가 있다. TMY 데이터는 주로 건물의 단열 및 냉난방 설비 설계와 태양광, 태양열 등 태양에너지 시스템의 성능평가 시 사용된다. 장기간 기상의 패턴을 반영하므로 특정기간의 기상 예측이나 실시간 건물에너지, 효율 평가에는 적합하지 않다.

TMY에 대한 선행연구의 대다수는 제작방법 또는 TMY를 구성하는 기상요소의 비교분석에 대해 다루고 있다. Table 1은 국내외적으로 TMY 데이터를 제공하는 대표적인 기관들과 TMY의 종류, 제작방법 등을 보여준다. 미국에서 공식적으로 TMY 데이터를 배포하고 있는 NREL(National Renewable Energy Laboratory)은 1978년에 248개 지점의 TMY 데이터를 시작으로, 현재 1,020개 지점의 TMY3 데이터를 제공하고 있다²⁾. 최근에는 12년간의 위성 데이터를 기반으로 10 km × 10 km 격자별 TMY 데이터도 생산하고 있다³⁾. 건물에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus의 경우, 우리나라 4개 지점의 TMY 데이터를 포함한 세계 각국의 기상데이터가 포함되어 있다⁴⁾. 이외에도 SolarGIS, Vaisala 등 TMY 데이터를 유료로 판매하는 업체들이 있다.

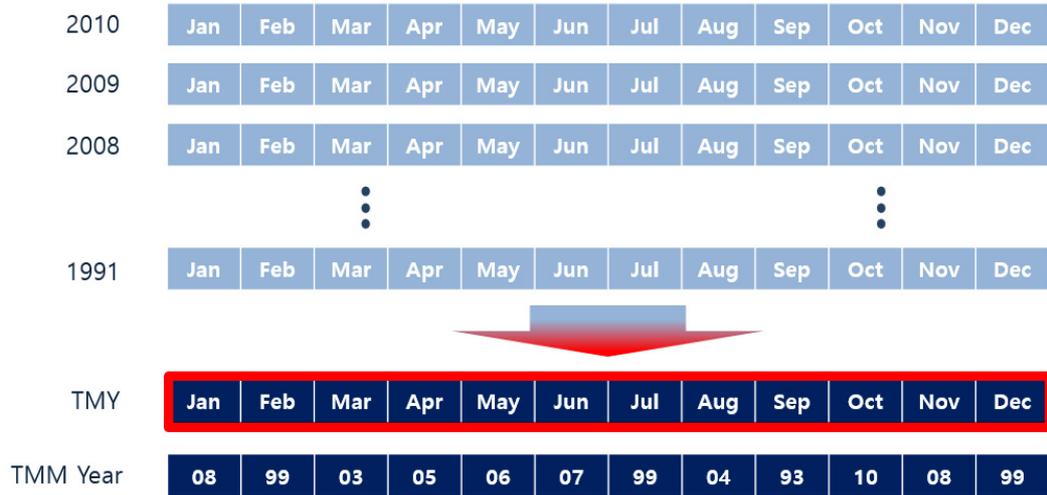


Fig. 1 The Concept of the TMY

Table 1 The representative TMY data sets

| Institution | Type | Period | Method | Number | |
|-------------|-------|---|-------------|---------------|-------|
| Overseas | NREL | TMY | 1952-1975 | Sandia Method | 248 |
| | | TMY2 | 1961-1990 | Sandia Method | 239 |
| | | TMY3 | 1991-2005 | Sandia Method | 1,020 |
| | | Gridded TMY, TDY, TGY (10 km × 10 km) | 1998-2009 | Sandia Method | N/A |
| ASHRAE | IWEC | 1982-1999 | IWEC Method | 227 | |
| | | CWEC (Canadian Weather for Energy Calculations) CityUHK (City University of Hong Kong) CSWD (Chinese Standard Weather Data) ETMY (Egyptian Typical Meteorological Year) ⋮ | | | |
| Domestic | KIER | TMY3 | 1991-2010 | Sandia Method | 22 |
| | KSES | TRY | 1981-2010 | ISO 15927-4 | 7 |
| | PHIKO | TRY | 2005-2014 | ISO 15927-4 | 70 |

국내의 주요 TMY 데이터로는 한국태양에너지학회(The Korean Solar Energy Society, KSES)에서 제공하는 7개 지점의 TRY 데이터가 있다⁵⁾. 그러나 최신의 기상관측 데이터를 반영하지 못한다는 단점이 있어, 2017년 한국패시브건축협회(Passive House Institute Korea, PHIKO)에서는 국내 70개 지점의 TRY 데이터를 생산하였다⁶⁾. 한국에너지기술연구원(Korea Institute of Energy Research, KIER)에서는 2015년부터 국내 일사관측 22개 지점에 대한 TMY 데이터를 제작하고 국가참조표준 데이터로 등록하였으며, 국가참조표준센터 홈페이지를 통해 무료로 제공하고 있다⁷⁾.

TMY 데이터를 건물 냉난방 설계의 성능평가에 활용하여 비교한 연구에 의하면⁸⁾, 동일한 지역에서도 TMY 데이터 간 차이가 있었으며, 특히 냉방 부하의 경우 TMY 데이터에 따라 시뮬레이션 결과에 큰 차이가 발생했

다. 이 원인을 파악하기 위해 TMY 데이터의 기상요소 간 상관관계를 분석한 결과, 특히 직달 일사량의 차이에 기인하였음을 결론으로 제시하고 있다. 그렇다면 건물에너지의 성능평가나 최근 신재생에너지 중에서 각광받고 있는 태양에너지시스템 분석 시에 어떤 TMY 데이터를 신뢰할 수 있는가에 대한 의문이 생긴다. Yang⁹⁾, Wan¹⁰⁾, 그리고 Lam¹¹⁾은 건물의 열과 에너지 성능에 직접적인 영향을 미치는 건구온도, 습구온도, 전일사량(Global solar radiation)의 30년간 월별 데이터를 토대로 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 수행하였다. 특히 Yang⁹⁾은 주성분을 새로운 변수로 도입하여 5개 기후존의 도시를 대상으로 TPCY(Typical principal component years)를 제작하였다. TPCY의 경우 오차 범위가 $0.2\% \leq \text{MBE} \leq 1.5\%$ 로, TMY를 이용할 때보다 장기 건물에너지 수요 예측의 정확도가 높은 것으로 보고하고 있다. 그러나 이들은 건물의 냉방 부하뿐만 아니라 고정식 및 추적식 태양광 발전시스템, 태양열 발전시스템에 중요한 영향을 미치는 법선면 직달일사량^{1,8,12)}에 대해서는 주성분분석을 수행하지 않았고, 기후변화를 반영한 건물에너지 수요를 분석하는데 초점이 맞춰져있다. 이와 같이 선행연구들은 주성분분석을 적용하여 TMY를 제작하거나 TMY의 구성요소를 통계적으로 비교분석하였지만 현재 배포되고 있는 국내 TMY의 구성요소에 대해 주성분분석을 적용하여 TMY의 특성을 파악하거나 자료구조를 분석하지는 않았다.

본 논문에서는 국내 TMY 데이터 3종의 차이를 비교하기 위해 먼저 기상요소의 통계적인 특성을 비교, 분석하였고, TMY 데이터를 구성하는 기상요소의 구조적인 적합성을 판별하고, 자료구조의 지점별 일관성을 검증하기 위해 주성분분석을 수행하였다.

2. 연구자료

사용한 데이터는 KIER의 TMY, PHIKO의 TRY, KSES의 TRY 데이터⁵⁻⁷⁾이고 각각의 데이터 제작방법 및 사용한 장기데이터베이스의 기간과 직산분리모델, 가중치에 대한 정보는 Table 2에 나와 있다. KSES와 PHIKO의 TRY 데이터는 ISO 15927-4 방법론에 따라 제작되는데 이 방법론에서는 건구온도, 수평면 전일사량, 풍속의 기상요소를 이용, Finkelstein-Schafer(FS) 통계¹³⁾에 기초하여 대표월을 선정한다. KIER의 TMY 데이터도 대표월을 선정하는 방법은 FS 통계 기반이지만 선정 시 사용하는 기상요소가 더 많으며 각각의 기상요소에 대한 가중치를 적용한다. 즉, 건구온도, 이슬점온도, 풍속, 수평면 전일사량, 법선면 직달일사량을 이용하여 일사량에 대한 가중치가 50%로 대표월을 선정하는데 미치는 중요도가 높은 편이다. Table 3에서는 각 기관 TMY 데이터의 구성요소들을 보여주고 있으며 본 구성요소들을 토대로 주성분분석을 수행하였다. 주성분분석 수행 시에는 구성요소들에 대한 가중치를 적용하지 않기 때문에 가중치와 본 연구의 주성분분석 결과에는 관련이 없다. 대상지점은 세 기관의 공통지점인 부산, 서울, 인천, 대전, 대구, 광주 6개 도시이다.

Table 2 The comparison of the TMY data between the 3 institutions ¹³⁻¹⁹⁾

| | | KIER | | PHIKO | | KSES | |
|--------------------|----------------|-------------------------------------|----|--------------------------|--|--------------------|--|
| Method | | Finkelstein-Schafer (FS) statistics | | | | | |
| | | Sandia method | | ISO 15927-4 method | | ISO 15927-4 method | |
| Period of database | | 1991-2010 | | 2005-2014 | | 1981-2010 | |
| DNI Model | | Decomposition model | | | | | |
| | | Reindl-2 model | | Skartveit & Olseth model | | Lee et al. model | |
| Weighting values | Dry bulb temp | Max | 5% | Not used | | | |
| | | Min | 5% | | | | |
| | Mean | 10% | | | | | |
| | Dew point temp | Max | 5% | | | | |
| | | Min | 5% | | | | |
| | Mean | 10% | | | | | |
| | Wind velocity | Max | 5% | | | | |
| | | Mean | 5% | | | | |
| | GHI | 25% | | | | | |
| | DNI | 25% | | | | | |

Table 3 The elements of the TMY data between the 3 institutions

| No. | Element | KIER | PHIKO | KSES |
|------------------------------|--|------|-------|------|
| 1 | GHI (Global horizontal irradiance, Wh/m ²) | ● | ● | ● |
| 2 | DNI (Direct normal irradiance, Wh/m ²) | ● | | ● |
| 3 | DHI (Diffuse horizontal irradiance,) | ● | ● | |
| 4 | TA (Dry-bulb temperature, °C) | ● | ● | ● |
| 5 | TD (Dew-point temperature, °C) | ● | | ● |
| 6 | HM (Relative humidity, %) | ● | ● | ● |
| 7 | PA (Air pressure, hPa) | ● | ● | ● |
| 8 | WS (Wind speed, m/s) | ● | ● | ● |
| 9 | WD (Wind direction) | ● | ● | ● |
| 10 | VP (Vapor pressure, hPa) | ● | | |
| 11 | PW (Amount of precipitation, mm) | ● | ● | ● |
| 12 | CA (Total cloud cover) | ● | ● | ● |
| 13 | TG (Ground-surface temperature, °C) | ● | | |
| 14 | SC (Snow depth, cm) | | | ● |
| 15 | AH (Absolute humidity, kg/kg) | | | ● |
| 16 | AD (Air density, kg/) | | | ● |
| 17 | ET (Enthalpy, kJ/kg) | | | ● |
| Total number of the elements | | 13 | 9 | 14 |

3. 연구방법

3.1 기상요소의 평균과 표준편차 분석

세 기관의 TMY 데이터를 구성하는 기상요소의 통계적인 차이를 비교하고자, 공통 기상요소인 건구온도, 풍속, 상대습도, 수평면 전일사량, 그리고 법선면 직달일사량의 연평균과 표준편차를 산출하였다.

3.2 기상요소의 주성분분석

세 기관의 TMY 데이터를 구성하는 기상요소의 자료구조를 파악함과 아울러 지점별 일관성을 검증하기 위해 주성분분석을 수행하였다. 주성분분석은 여러 개의 양적변수들 사이의 분산-공분산 관계를 이용하여 변수들의 선형결합으로 표시되는 주성분을 찾고, 2~3개의 주성분으로 전체 변동의 대부분을 설명하는 다변량 분석법이다. 변수 간의 상관관계가 있는 다차원의 데이터를 저차원의 데이터로 요약하는 방법 중 하나로 적은 수의 특징만으로 특정 현상을 설명하려고 할 때 쓰인다. 회귀분석, 인자분석, 군집분석, 머신러닝 등의 전초작업으로, 고차원으로 인해 야기될 수 있는 모델의 성능 저하를 저차원으로 변환하여 모델의 성능을 강화하는데 활용된다.

수학적으로 주성분분석은 입력 변수들의 공분산 행렬(covariance matrix)에 대한 고유값 분해(eigenvalue decomposition)와 같다. 이 때 고유벡터가 주성분으로, 변수의 분포에서 분산이 큰 방향을 나타내고 이에 대응되는 고유값이 그 분산의 크기를 나타낸다. 제1주성분이 변수들의 전체 분산을 가장 많이 설명하는 성분이고 제2주성분이 제1주성분 다음으로 분산이 가장 큰 성분이며 제1주성분과 수직으로 서로 독립적인 관계이다. 수식적으로는 \sum 가 원데이터 X 의 공분산 행렬이고 \sum 의 가장 큰 고유값과 고유벡터를 각각 λ_1, α_1 라고 가정하면 새로운 변수 z_1 와 그 분산은 식(1), (2)와 같이 표현된다.

$$\vec{z}_1 = \vec{\alpha}_1^T X \tag{1}$$

$$Var(\vec{z}_1) = \vec{\alpha}_1^T \sum \vec{\alpha}_1 \tag{2}$$

고유벡터의 정의에 의해 식(3)이 성립된다.

$$\sum \vec{\alpha}_1 = \lambda_1 \vec{\alpha}_1 \tag{3}$$

이를 원식에 대입하고 α 를 단위벡터로 정한 제약식을 적용하면 식(4)-(7)과 같다.

$$Var(\vec{z}_1) = \vec{\alpha}_1^T \sum \vec{\alpha}_1 \tag{4}$$

$$= \vec{\alpha}_1^T \lambda_1 \vec{\alpha}_1 \tag{5}$$

$$= \lambda_1 \vec{\alpha}_1^T \vec{\alpha}_1 \tag{6}$$

$$= \lambda_1 \tag{7}$$

위 식은 \sum 의 제1고유벡터로 만든 새로운 변수 z_1 의 분산이 고유값 λ_1 이라는 것을 의미한다. 이를 확장하면 \sum 의 i 번째로 큰 고유값과 고유벡터를 각각 λ_i, α_i 라고 할 때 이를 이용하여 만든 새로운 변수 z_i 의 분산은 고유값 λ_i 가 된다²⁰⁾.

TMY에서 제1주성분은 TMY의 변동을 가장 많이 설명함으로써 TMY 구성요소 중 가장 중요한 영향을 미치는 요소이고, 제 2주성분은 이와 독립적인 관계로 제1주성분이 설명하지 못하는 나머지 변동을 가장 많이 설명하는 요소이다. 본 논문에서는 주성분분석을 수행하기 위해 SAS 소프트웨어를 이용하였고, scree plot을 이용하여 고유값이 1 이상이며 그래프의 기울기가 급격하게 변하는 구간을 기점으로 주성분의 개수를 결정하였다. 아울러 건물의 열과 에너지 성능에 직접적인 영향을 끼치며, 태양광, 태양열 발전시스템의 성능에 가장 중요한 요소인 온도와 일사량이 주성분으로, 각 지점별로 동일한 주성분이 도출될 때 일관성 있고 신뢰성 있는 TMY라는 가설을 가지고 진행하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 평균 및 표준편차 비교

Table 4와 같이 세 기관 TMY 데이터의 공통 구성요소에 대한 연평균과 표준편차를 비교한 결과, 건구온도, 풍속, 상대습도, 수평면 전일사량은 서로간의 차이가 15% 이하로 적었다. 하지만 법선면 직달일사량은 기관간의 차이가 45% 정도로 발생하여 다른 기상요소에 비해 큰 차이가 있었다. 이는 법선면 직달일사량을 제외한다면 기상요소들은 실측값인 반면에 법선면 직달일사량은 장기실측데이터의 부재로 기관마다 다른 모델을 적용하여 예측한 값을 사용했기 때문인 것으로 추측된다¹⁴⁻¹⁷⁾.

Table 4 The comparison of solar irradiance and meteorological elements between the 3 institutions

| Element | Institution | Measure | Busan | Seoul | Incheon | Daejeon | Daegu | Gwangju |
|---------------------------|-------------|--------------------|-------|-------|---------|---------|-------|---------|
| Dry bulb temperature (°C) | KIER | Mean | 14.8 | 12.9 | 12.3 | 13.1 | 14.4 | 14.4 |
| | | Standard deviation | 8.3 | 10.3 | 10.1 | 10.3 | 9.9 | 9.6 |
| | PHIKO | Mean | 14.8 | 12.7 | 12.5 | 12.8 | 14.6 | 14.3 |
| | | Standard deviation | 8.7 | 10.3 | 10.4 | 10.8 | 10.1 | 9.9 |
| | KSES | Mean | 14.9 | 12.6 | 12.2 | 12.9 | 14.6 | 14.0 |
| | | Standard deviation | 8.4 | 10.5 | 10.3 | 10.5 | 9.8 | 9.8 |

Table 4 The comparison of solar irradiance and meteorological elements between the 3 institutions (Continued)

| Element | Institution | Measure | Busan | Seoul | Incheon | Daejeon | Daegu | Gwangju | |
|--|--|--------------------|--------------------|-------|---------|---------|-------|---------|-----|
| Wind speed (m/s) | Difference of mean (%) | | 0.7 | 2.8 | 2.5 | 1.7 | 1.7 | 2.7 | |
| | Difference of standard deviation (%) | | 4.1 | 1.9 | 2.8 | 4.7 | 2.8 | 3.7 | |
| | KIER | Mean | 3.7 | 2.4 | 2.9 | 1.8 | 2.3 | 2.2 | |
| | | Standard deviation | 2.0 | 1.4 | 1.8 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | |
| | PHIKO | Mean | 3.3 | 2.6 | 2.9 | 1.7 | 2.2 | 1.9 | |
| | | Standard deviation | 1.8 | 1.4 | 1.8 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | |
| | KSES | Mean | 3.7 | 2.4 | 2.8 | 1.7 | 2.1 | 2.3 | |
| | | Standard deviation | 2.2 | 1.4 | 1.7 | 1.4 | 1.4 | 1.7 | |
| | Difference of mean (%) | | 11.8 | 8.1 | 2.9 | 7.6 | 9.5 | 14.8 | |
| | Difference of standard deviation (%) | | 20.5 | 2.8 | 6.6 | 11.1 | 14.3 | 25.1 | |
| Relative humidity (%) | KIER | Mean | 64.4 | 62.2 | 67.2 | 66.7 | 60.1 | 67.2 | |
| | | Standard deviation | 20.6 | 19.5 | 19.2 | 20.6 | 20.3 | 18.7 | |
| | PHIKO | Mean | 61.8 | 60.3 | 68.3 | 66.1 | 57.1 | 66.3 | |
| | | Standard deviation | 20.6 | 19.6 | 19.7 | 20.3 | 21.8 | 19.2 | |
| | KSES | Mean | 64.5 | 64.1 | 68.4 | 66.5 | 61.1 | 68.7 | |
| | | Standard deviation | 20.4 | 18.7 | 18.9 | 20.3 | 20.8 | 18.9 | |
| | Difference of mean (%) | | 4.2 | 6.0 | 1.7 | 0.9 | 6.6 | 3.5 | |
| | Difference of standard deviation (%) | | 1.0 | 4.8 | 4.2 | 1.5 | 7.6 | 2.6 | |
| | Global horizontal irradiance (kWh/m ²) | KIER | Mean | 156 | 137 | 154 | 161 | 149 | 158 |
| | | | Standard deviation | 226 | 234 | 240 | 217 | 240 | 244 |
| PHIKO | | Mean | 170 | 141 | 148 | 158 | 160 | 166 | |
| | | Standard deviation | 259 | 223 | 229 | 240 | 241 | 246 | |
| KSES | | Mean | 151 | 132 | 141 | 156 | 146 | 152 | |
| | | Standard deviation | 237 | 220 | 229 | 235 | 224 | 234 | |
| Difference of mean (%) | | 11.9 | 6.9 | 8.5 | 2.9 | 9.6 | 8.8 | | |
| Difference of standard deviation (%) | | 14.4 | 6.3 | 4.4 | 10.8 | 6.8 | 4.8 | | |
| Direct normal irradiance (kWh/m ²) | | KIER | Mean | 117 | 90 | 120 | 128 | 102 | 120 |
| | | | Standard deviation | 210 | 179 | 211 | 230 | 187 | 222 |
| | KSES | Mean | 66 | 53 | 60 | 65 | 59 | 65 | |
| | | Standard deviation | 129 | 115 | 123 | 127 | 116 | 128 | |
| | Difference of mean (%) | | 43.6 | 40.6 | 49.7 | 49.0 | 41.7 | 46.2 | |
| | Difference of standard deviation (%) | | 38.5 | 35.5 | 41.9 | 44.9 | 38.2 | 42.2 | |

4.2 주성분분석 결과 비교

(1) KIER의 TMY 데이터

KIER의 TMY 데이터는 Table 5와 같이 이슬점온도와 증기압, 건구온도와 지면온도가 제1주성분이며, 이와 독립적인 관계로 수평면 전일사량과 산란일사량, 법선면 직달일사량이 제2주성분으로 도출되었다. 제3주성분은 풍속, 풍향 등이고 총 4~5개의 주성분 변수로 76~81%의 설명력을 가진다. Fig. 2에서는 대전에서의 주성분

에 따른 고유값과 설명력을 보여준다. 4개의 주성분으로 77%의 설명력을 가짐을 알 수 있다. KIER의 TMY 데이터는 세 기관 중 주성분의 설명력이 가장 높다.

Table 5 The PCA results of the TMY data of KIER

| Eigenvectors | | Busan | Seoul | Incheon | Daejeon | Daegu | Gwangju |
|-----------------------|-----|-------|-------|---------|---------|-------|---------|
| Principal component 1 | TA | 0.41 | 0.43 | 0.43 | 0.41 | 0.46 | 0.42 |
| | TD | 0.44 | 0.45 | 0.45 | 0.43 | 0.47 | 0.43 |
| | VP | 0.42 | 0.44 | 0.44 | 0.41 | 0.47 | 0.42 |
| | TG | 0.39 | 0.43 | 0.43 | 0.40 | 0.46 | 0.40 |
| Principal component 2 | GHI | 0.54 | 0.54 | 0.57 | 0.59 | 0.55 | 0.57 |
| | DNI | 0.33 | 0.42 | 0.44 | 0.33 | 0.37 | 0.40 |
| | DHI | 0.54 | 0.52 | 0.55 | 0.55 | 0.54 | 0.53 |

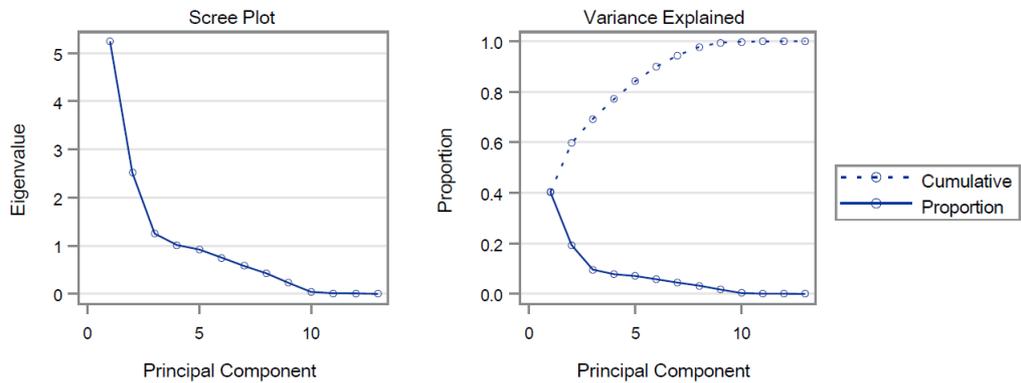


Fig. 2 The scree plot and variance of the TMY data from KIER in Daejeon

아울러 대전을 예로 제1, 제2주성분을 식으로 표현하면 식(8), (9)와 같다.

$$\text{Principal component 1} = 0.41 \times \text{TA} + 0.43 \times \text{TD} + 0.41 \times \text{VP} + 0.40 \times \text{TG} + \dots \tag{8}$$

$$\text{Principal component 2} = 0.59 \times \text{GHI} + 0.33 \times \text{DNI} + 0.55 \times \text{DHI} + \dots \tag{9}$$

(2) PHIKO의 TRY 데이터

PHIKO의 TRY 데이터는 KIER의 TMY 데이터와 달리 기상요소에 이슬점온도, 지면온도, 법선면 직달일사량이 없다. 법선면 직달일사량은 별도로 제공하는 프로그램으로 계산할 수 있으나 TRY 데이터에는 포함되지 않는다. PHIKO TRY 데이터에 대한 주성분분석 결과, 타 기관에 비해 일관성이 부족한 결과가 도출되었다. 즉, Table 6와 같이 6개 지점 중 2개 지점에서만 제1주성분이 온도, 제2주성분이 일사량으로 도출되었고, 대전, 광주에서는 주성분의 우선순위가 바뀌었으며 서울, 대구, 광주에서는 일사량과 건구온도가 같은 주성분으로 도출

되었다. 총 3개의 주성분 변수로 64~68%의 설명력을 가지는데 대전을 예로 주성분에 따른 고유값과 설명력을 보면 Fig. 3과 같다. 대전의 경우 3개의 주성분으로 65%의 설명력을 가진다. PHIKO의 TRY 데이터는 세 기관 중 설명력이 가장 낮다.

Table 6 The PCA results of the TRY data of PHIKO

| Eigenvectors | | Busan | Seoul | Incheon | Daejeon | Daegu | Gwangju |
|-----------------------|-----|-------|-------|---------|---------|-------|---------|
| Principal component 1 | TA | 0.48 | | 0.42 | | | 0.40 |
| | HM | 0.49 | 0.54 | 0.50 | -0.39 | -0.54 | |
| | PA | -0.48 | -0.40 | -0.46 | | | |
| | CA | 0.41 | 0.43 | 0.42 | | -0.39 | |
| | GHI | | | | 0.55 | | 0.52 |
| | DHI | | | | 0.52 | | 0.51 |
| Principal component 2 | GHI | 0.66 | 0.50 | 0.58 | | 0.43 | |
| | DHI | 0.61 | 0.54 | 0.59 | | 0.50 | |
| | TA | | 0.47 | | 0.45 | 0.53 | |
| | PA | | | | -0.56 | -0.46 | -0.55 |
| | CA | | | | 0.46 | | 0.48 |
| | HM | | | | | | 0.45 |

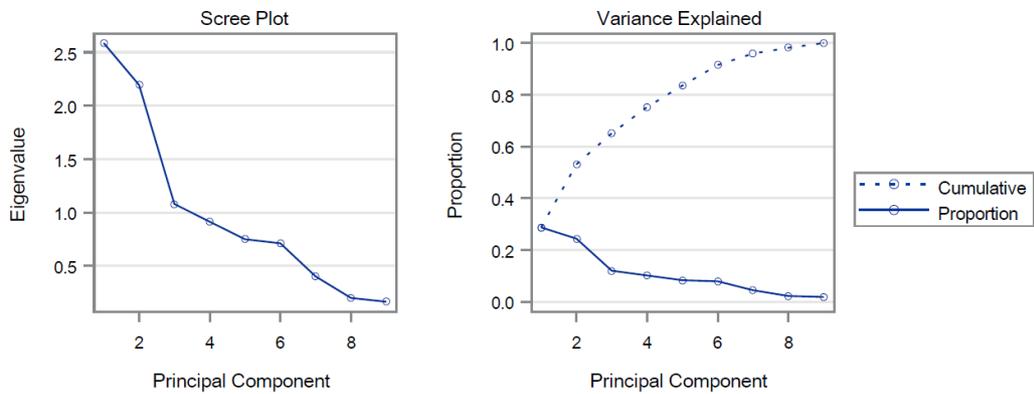


Fig. 3 The scree plot and variance of the TRY data from PHIKO in Daejeon

(3) KSES의 TRY 데이터

KSES의 TRY 데이터는 타 기관의 TMY 데이터들과 달리 산란일사량이 없는 대신 절대습도, 공기밀도, 엔탈피가 포함되어 있다. Table 7와 같이 이슬점온도, 엔탈피, 절대습도, 건구온도, 공기밀도가 제1주성분으로, 법선면 직달일사량, 수평면 전일사량이 제2주성분으로 도출되었으며, 총 3~4개의 주성분 변수로 69~77%의 설명력을 가진다. Fig. 4에서는 대전을 예로 주성분에 따른 고유값과 설명력을 보여준다. 3개의 주성분으로 69%의 설명력을 가짐을 볼 수 있다.

Table 7 The PCA results of the TRY data of KSES

| Eigenvectors | | Busan | Seoul | Incheon | Daejeon | Daegu | Gwangju |
|-----------------------|-----|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Principal component 1 | TA | 0.38 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.38 | 0.39 |
| | TD | 0.40 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 |
| | AH | 0.39 | 0.40 | 0.39 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| | AD | - 0.38 | - 0.39 | - 0.39 | - 0.39 | - 0.38 | - 0.39 |
| | ET | 0.39 | 0.41 | 0.40 | 0.41 | 0.41 | 0.41 |
| Principal component 2 | GHI | 0.60 | 0.55 | 0.57 | 0.54 | 0.54 | 0.54 |
| | DNI | 0.61 | 0.55 | 0.58 | 0.54 | 0.54 | 0.55 |
| | HM | | - 0.43 | | | | - 0.46 |

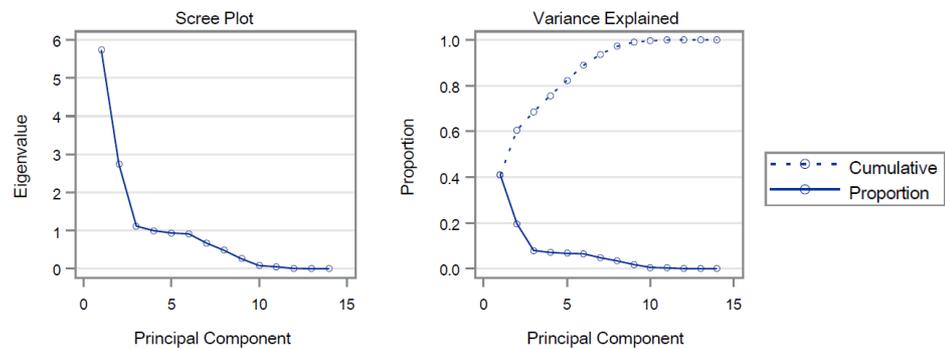


Fig. 4 The scree plot and variance explained of the TRY data from KSES in Daejeon

(4) 주성분분석 결과 비교

세 기관의 TMY 데이터를 구성하는 기상요소에 대한 주성분분석 결과, KIER의 TMY 데이터와 KSES의 TRY 데이터는 제1주성분과 제2주성분이 각각 온도와 일사량으로 도출되는 공통점을 보였다. 그러나 PHIKO의 TRY 데이터는 총 6개 지점 중 2개 지점에서만 제1주성분과 제2주성분이 각각 온도와 일사량이 도출되고 나머지 4개 지점에서는 온도와 일사량이 아닌 다른 기상요소가 주성분으로 산출되는 등 타 기관과는 자료구조에 차이가 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 국내에서 공식적으로 TMY 데이터를 제공하는 KIER, PHIKO, KSES의 TMY 데이터를 구성하는 기상요소가 어떤 차이와 특성을 가지고 있는지 알아보기 위해 공통요소의 연평균 및 표준편차를 비교함으로써 기존 선행연구들에서 수행했던 TMY 구성요소에 대한 통계적 분석과 더불어 TMY의 자료특성을 알아내기 위해 TMY 구성요소들에 대한 주성분분석을 수행하였다. 이를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 국내 6개 지점에 대한 TMY 데이터를 비교한 결과, 건구온도, 풍속, 상대습도, 수평면 전일사량은 연평균 및 표준편차의 차이가 각각 15%와 25% 이내였으나, 법선면 직달일사량은 각각 45%와 40% 정도로 상대적으

로 큰 차이를 보였다. 그 원인은 국내 법선면 직달일사량의 경우 장기간 실측데이터의 부재로 서로 다른 모델들을 사용하여 추산하였기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 차이는 TMY 데이터를 이용한 해석결과와의 오차로 작용하게 되므로, 지속적인 측정과 함께 신뢰할 수 있는 직달일사량 예측모델의 개발이 요구된다.

- (2) 주성분분석을 통하여 TMY의 자료구조 특성을 분석한 결과, 제1, 제2 주성분인 기온, 일사량과의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. 즉, TMY의 대표적인 설명력은 기온 및 일사량이라고 할 수 있다. KIER와 KSES는 모든 지점에서 제1, 제2주성분이 각각 온도와 일사량으로 일관성 있는 결과가 나타난 반면, PHIKO는 지점마다 다른 기상요소의 비중이 크게 나타나는 등 일관성이 없는 것으로 분석되었다. 따라서 필히 PHIKO의 TRY 데이터 제작에 사용된 기상자료의 정합성 등을 확인할 필요가 있다고 사료된다.
- (3) 온도와 일사량이 중요한 영향을 미치는 건물에너지 성능평가 또는 태양광, 태양열 발전시스템 분석을 위한 TMY 데이터는 제1, 제2주성분이 온도와 일사량으로 구성되며 지점에 따라서도 일관성이 있어야 할 것이다. 따라서 KIER의 TMY 데이터와 KSES의 TRY 데이터가 이러한 조건을 충족한다. 하지만 KSES TRY 데이터의 연평균 법선면 직달일사량은 타 TMY 데이터의 연평균 법선면 직달일사량과의 차이가 45% 정도로 매우 과소예측 되어있고 KIER TMY 데이터의 주성분에 대한 설명력이 세 기관 중 가장 높음을 고려할 때 KIER의 TMY 데이터가 가장 신뢰성이 있다고 사료된다. 향후 실제 태양광 발전시스템의 장기간 운전자료와 TMY 데이터를 이용한 예측결과와의 비교를 통하여 실질적인 적합성 평가를 수행할 계획이다.

후기

이 연구는 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 ('20001554').

REFERENCES

1. Nielsena, K. P., Blanc, P., Vignola, F., Ramirez, L., Blanco, M., and Meyer, R. Discussion of currently used practices for: "Creation of Meteorological Data Sets for CSP/STE Performance Simulation", SolarPACES Report, IEA SolarPACES, 2017.
2. Wilcox, S. and Marion, W., Users Manual for TMY3 Data Sets, National Renewable Energy Laboratory, 2008.
3. Habte, A., Lopez, A., Sengupta, M., and Wilcox, S., Temporal and Spatial Comparison of Gridded TMY, TDY, and TGY Data Sets, National Renewable Energy Laboratory, 2014.
4. EnergyPlus. Available online: <https://energyplus.net/weather/sources#IWEC>
5. The Korean Solar Energy Society(KSES). Available online: http://www.kses.re.kr/data_06/list_hi.php.
6. Passive House Institute Korea(PHIKO). Available online: http://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=2479.
7. Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS). Available online: <http://www.srd.re.kr/db/srdDbInfoView.do?scid=S06001003>.
8. Kim, E. Y. and Jun, H. J., A Study on Influence of Type of Weather Data on Results of Building Energy Performance Simulation, Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 3, pp. 317-326, 2013.

9. Yang, L., Wan, K. K. W. Li, D. H. W. and Lam, J. C., A New Method to Develop Typical Weather years in Different Climates for Building Energy use Studies, *Energy*, Vol. 36, pp. 6121-6129, 2011.
10. Kevin, K. W., Wan, K. L., and Yang, C. L., Lam, J. C. A New Variable for Climate Change Study and Implications for the Built Environment, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp. 916-919, 2009.
11. Lam, J. C., Kevin K. W., Wan, Lam, T. N. T., and Wong, S. L., An Analysis of Future Building Energy use in Subtropical Hong Kong, *Energy*, Vol. 35, pp. 1482-1490, 2010.
12. Realpe, A. M., Vernay, C., Pitaval, S., Lenoir, C., and Blanc, P., Benchmarking of Five Typical Meteorological year Datasets Dedicated to Concentrated-PV systems, *Energy Procedia* 97, pp. 108-115, 2016.
13. Finkelstein, J. M. and Schafer, R. E., Improved Goodness-of-fit tests, *Biometrika*, Vol. 58, No. 3, pp. 641-645, 1971.
14. Lee, H. J., Kim, S. Y., and Yun, C. Y., Generation of Typical Meteorological Year Data Suitable for Solar Energy Systems and Analysis of Solar Irradiance Data, *New & Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3, 2017.
15. Lee, H. J., Kim, S. Y., and Yun, C. Y., Comparison of Solar Radiation Models to Estimate Direct Normal Irradiance for Korea, *energies*, 2017.
16. Lee, K. H., Yoo, H. C., and Levermore, G. J., Quality Control and Estimation Hourly Solar Irradiation on Inclined Surfaces in South Korea, *Renewable Energy*, 57, pp. 190-199, 2013.
17. Kim, S. Y., Lee, H. J., Kim, H. G., Jang, G. S., Yun, C. Y., Kang, Y. H., Kang, C. S., and Choi, J. O., A Study on Uncertainty to Direct Normal Irradiance of Typical Meteorological Year Data, *New & Renewable Energy*, Vol. 12, No. S2, pp. 36-43, 2016.
18. Yoo, H. C., Noh, K. H., Kang, H. G., and Shin, I. H., Comparison and Analysis of Typical Meteorological data by in Korea, *The Korean Solar Energy Society*, Vol. 29, No. 2, pp. 361-366, 2009.
19. Yoo, H. C. and Park, S. H., Comparative Analysis of Diverse Typical Weather data Model for Building Energy Assessment, *Architectural Institute of Korea*, Vol. 30, No. 3, pp. 215-222, 2014.
20. Wilks, D. S., *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Third edition, Academic press, 2015.