

한반도 태양에너지 연구를 위한 일사량 자료의 TMY 구축

지준범*, 이승우, 최영진, 이규태**

The Generation of Typical Meteorological Year for Research of the Solar Energy on the Korean Peninsula

JoonBum Jee*, SeungWoo Lee, YoungJean Choi and KyuTae Lee**

Abstract

The TMY (Typical Meteorological Year) for the solar energy study is generated using observation data with 22 solar sites from KMA (Korea Meteorological Administration) during 11 years (2000-2010). The meteorological data for calculation the TMY are used solar radiation, temperature, dew point temperature, wind speed and humidity data. And the TMY is calculated to apply the FS (Finkelstein and Schafer) statistics and RMSE (Root Mean Squared Error) methods. FS statistics performed with each point and each variable and then selected top five candidate TMM months with statistical analysis and normalization. Finally TMY is generated to select the highest TMM score with evaluation the average errors for the 22 whole points. The TMY data is represented average state and long time variations with 22 sites and meteorological data. When TMY validated with the 11-year daily solar radiation data, the correlation coefficient was about 0.40 and the highest value is 0.57 in April and the lowest value is 0.23 in May. Mean monthly solar radiation of TMY is 411.72 MJ which is 4 MJ higher than original data. Average correlation coefficient is 0.71, the lowest correlation is 0.43 in May and the highest correlation is 0.90 in January. Accumulated annual solar radiation by TMY have higher value in south coast and southwestern region and have relatively low in middle regions. And also, differences between TMY and 11-year mean of is distributed lower 100 MJ in Kyeongbuk, higher 200 MJ in Jeju and higher 125 MJ in Jeonbuk and Jeonnam, respectively.

Key words

TMY(Typical Meteorological Year(표준기상자료), Solar Radiation(지표면 태양복사), Solar Energy(태양 에너지), FS Statistics (FS 통계)

(접수일 2012. 3. 16, 수정일 2012. 5. 31, 게재확정일 2012. 5. 31)

* 국립기상연구소 응용기상과 (Applied Meteorology Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research)

■ E-mail : jbjee@korea.kr ■ Tel : (070)7850-6826 ■ Fax : (02)6712-0450

** 강릉원주대학교 대기환경과학과 (Department of Atmospheric and Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University)

■ E-mail : ktleee@gwnu.ac.kr ■ Tel : (033)640-2324 ■ Fax : (033)640-2324

Nomenclature

x	: meteorological variables
FS	: Finkelstein and Schafer function
CDF	: cumulative density fuction
w	: weighting function
SD	: function of root mean squared error
S	: weighted summation
min	: minimum function

subscrip

y, m, d	: index of year, month, day
k	: index of stations
i	: index of meteorological vriables
j	: index of bins for cumulative density function

1. 서론

최근 대체에너지에 대한 연구는 지구온난화와 에너지 부족 문제를 해결하고자 선진국들을 중심으로 시작되었으며 특히 신재생에너지는 2차 오염물의 발생이 없는 청정에너지에 대한 분야이다. 신재생에너지에 대한 효율성과 기술수준은 아직 높지 않으나 머지않은 미래의 에너지 고갈을 대비하는 생존의 에너지로 연구개발이 지속되고 있다. 특히 태양광/열 및 풍력에너지는 각국의 정부를 중심으로 집중적인 개발경쟁의 장이 되고 있다.

국내에서는 발전차액 지원제를 실시하여 태양광발전을 활성화하고자 하였고 다수의 대규모 발전단지 및 소규모 발전 시설이 건설되었다. 그러나 2013년 의무할당제의 실시에 따라 발전시설의 효율성을 높여 전력생산을 증대시켜야만 하는 실정이다. 효율적인 태양광발전을 위한 선행과제는 과학적이고 현실성있는 태양자원지도 개발과 이를 통하여 잠재적인 태양광 발전의 타당성을 정확히 평가하는 것이다. 국립기상연구소는 2010년 위성자료와 단층태양복사모델을 기반으

로 한반도 영역에 대하여 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 해상도의 태양·기상 자원지도를 개발하였다(국립기상연구소, 2010)⁽¹⁾. 이 결과는 2009년과 2010년 자료를 이용하여 계산되어 장기간의 기후 및 기상특성이 제대로 반영되지 않았다. 또한 이규태 등(2011)⁽²⁾은 해상도 변화에 따른 일사량 계산의 차이를 보였고, 김영득 등(2008)⁽³⁾은 지형분석에 따른 태양광입지선정방법을 분석하였다. TMY(Typical Meteorological Year)는 기상연구 및 예측에 주로 사용되는 기상통계 데이터베이스로서 장기간에 걸쳐 지속적으로 발생하는 기상의 특징을 반영하는 TMM(Typical Meteorological Month)을 선택하여 얻은 1년 기간의 기상자료이다(Klein et al, 1975)⁽⁴⁾. 이러한 데이터베이스는 기상자료가 가지는 단기간(시간별 또는 일별) 또는 장기간(월별) 특징을 모두 포함하기 때문에 기상현상의 예측이나 에너지 연구 및 평가의 입력자료로 유용하게 사용된다.

미국 신재생에너지연구소는 1961년부터 1990년까지 30년 자료를 이용하여 TMY2s를 개발하여 태양광발전의 기초자료로 활용하고 있으며(William and Ken, 1995)⁽⁵⁾, 최근 자료들을 이용하여 TMY3(Wilcox and Marion, 2008)⁽⁶⁾를 개발하여 적용 중이다. 그리스, 오스레일리아, 뉴질랜드, 말레이시아, 사우디아라비아 및 중국에서는 일사량 관측 자료를 이용하여 TMY를 생성하였으며 태양에너지 예측 및 활용을 위한 기본 자료로 활용되고 있다(Pissimianis et al, 1988)⁽⁷⁾; Anderson et al, 2006⁽⁸⁾; Graham and Alex, 1999⁽⁹⁾; Zhou, et al, 2008⁽¹⁰⁾; Raham et al, 2006⁽¹¹⁾; Said et al, 2004⁽¹²⁾. 국내에서도 유호천 등(2007)⁽¹³⁾은 TMY2, TRY(Typical Referece Year 2) 및 WYEC2(Weather Yera for Energy Calculation 2) 등의 방법을 서울지역의 20년간 일사량 관측자료에 적용하여 표준 일사량 자료를 비교분석하였다. 윤종호(2008)⁽¹⁴⁾는 건물에너지 성능 평가를 위한 표준기상자료에 대하여 조사하였으며 김혜중 등(2009)⁽¹⁵⁾은 기상청에서 운영하고 있는 77개 지상관측소의 기상자료를 이용하여 한반도 바람자원의 TMY 구축에 대하여 연구하였다.

남한지역의 일사량 관측소(기상청 관할)는 22개이며 이들 관측소는 일사량뿐만 아니라 기상관측을 동시에 수행하고 있다. 이 연구에서는 일사량 자료를 포함한 기상자료(기온, 이슬점온도, 습도, 풍속)를 이용하여 TMY를 구축과정에 대하여 살펴보고 태양에너지의 장기간 평균과 비교분석하여 일사량 TMY 자료의 특성을 살펴보고자 한다.

2. 연구자료 및 방법

2.1 연구자료

기상청은 전국 77개의 종관 관측소를 운영하고 있으며 날씨 예보 및 기후감시를 위한 기온, 강수, 바람, 기압, 구름 등을 관측하고 있다. 이들 중 수원기상대는 1969년 일사량 관측을 시작하였고 현재 22개 관측소에서는 일사량뿐만 일조시간 및 종관 기상관측을 수행하고 있다.

Table 1은 기상청에서 운용중인 일사량 관측소의 위치정보와 일사량 관측시작일을 정리한 것이다. 이 연구에서는 TMY 설정을 위하여 2000년 이후의 시간별 일사량, 기온, 이슬점 온도, 풍속, 상대습도 자료를 이용하였다. 일사량 자료는 전천일사계(pyranometer)를 이용하여 관측한 값이며 시간별 누적값으로 저장된 자료이고, 기온, 이슬점 온도, 상대습도 및 풍속은 매분 관측하여 한 시간 동안 평균한 값이다.

Table 1. Informations of 22 solar sites from KMA (Korea Meteorological Administration)

Station(ID)	Location	Start date
Seoul(108)	37,57, 126,97	1973. 1. 1.
Busan(159)	35,10, 129,03	1981. 1. 1.
Daegu(143)	35,88, 128,62	1981. 3. 16
Andong(136)	36,57, 128,71	1973. 1. 1.
Jinju(192)	36,21, 128,12	1971. 5. 1.
Pohang(138)	36,03, 129,38	1981. 1. 1.
Jeju(184)	33,51, 126,53	1984. 1. 1.
Gosan(185)	33,28, 126,17	1981. 1. 1.
Gangneung(105)	37,75, 128,90	1973. 1. 1.
Daegwalliyung(100)	37,76, 127,74	1972. 1. 1.
Chuncheon(101)	37,90, 127,74	1973. 1. 1.
Wonju(114)	37,33, 127,95	1973. 1. 1.
Kwangju(156)	35,17, 126,89	1981. 1. 1.
Heusando(169)	34,68, 125,45	1973. 1. 1.
Cheonju(146)	35,82, 127,16	1981. 1. 1.
Mokpo(165)	34,81, 126,38	1973. 1. 1.
Daejeon(133)	36,37, 127,37	1984. 1. 1.
Cheongju(131)	36,64, 127,44	1973. 1. 1.
Chupoongryung(135)	36,22, 128,00	1981. 1. 1.
Incheon(112)	37,47, 126,63	1973. 1. 1.
Suwon(119)	37,27, 126,99	1969. 1. 1.
Seosan(129)	36,77, 126,50	1981. 1. 1.

2.2 연구방법

기상청 관할의 22개 일사량 관측소의 기상관측자료를 기반으로 일사량 자료의 TMY를 설정하였다. 일사량 자료만을 이용하게 되면 관측자료의 부재 및 기계적 오류 등으로 인하여 신뢰성 높은 TMY 설정이 어렵다. 따라서 일사량을 포함한 기온, 이슬점온도, 풍속, 상대습도 자료를 이용하되 변수별 가중치를 주어 일사량 자료의 TMY를 구축하였다. 추후 위성자료 활용과 자원지도 계산 등 TMY의 용도를 고려하여 관측자료는 2000년 이후의 자료만을 사용하였다. TMY 구축의 방법은 Hall 등 (1978)⁽¹⁶⁾의 FS 통계를 기반으로 제안된 방법을 이용하였다. 또한 TMY설정은 각 지점별로 수행한 결과를 바탕으로 한반도 전지점에 대하여 평균하여 작성되므로 각 단계별 중간결과는 강릉(105)을 선별하여 보였다. 먼저 일사량 자료의 특성을 살펴보기 위하여 월별 시계열을 분석하였다. Fig. 1은 강릉의 월별 평균 일일 일사량의 시계열을

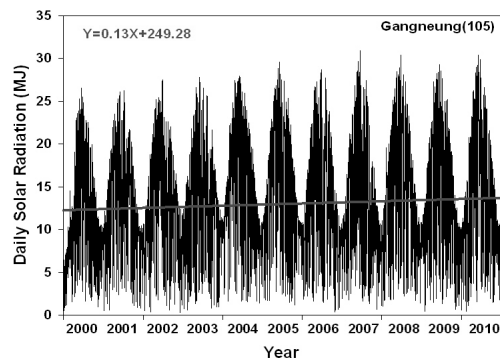


Fig. 1 Daily solar radiation (MJ) at Gangneung from 2000 to 2010

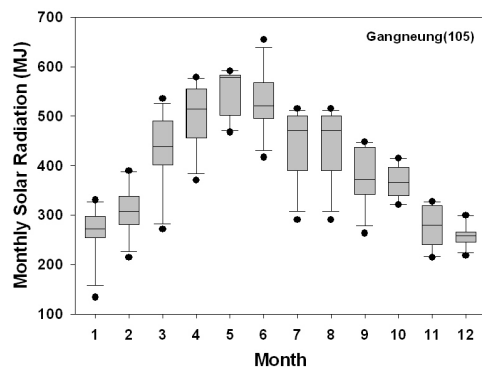


Fig. 2 Monthly boxplot of solar radiation (MJ) at Gangneung from 2000 to 2010

나타낸 것으로 계절적인 패턴이 있으며 1년을 주기로 변동되는 것을 확인할 수 있다. 11년동안 일사량은 0.13 MJ/year의 증가하는 경향성을 보였다. 이들 자료의 월평균에 대한 상자모형을 Fig. 2에 제시하였다. 월별 평균값에 의하면 여름철은 높고 겨울철에는 낮은 계절적인 패턴이 있으며 11년동안 일사량의 변화의 개황을 확인할 수 있다.

일사량의 TMY 구축의 첫 번째 단계로 22개 관측소별 그리고 각 변수의 월별 자료의 누적확률분포를 계산하여 FS 통계값(Finkelstein and Schafer, 1971)⁽¹⁷⁾을 계산한다.

$$FS_k(x_i; y, m) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |CDF_k(x_{ij}; m) - CDF_k(x_{ij}; y, m)|, i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

여기서, x_i 는 i 번째 기상요소이고 y 와 m 은 연과 월이고 k 는 관측소를 의미하고, j 는 확률누적함수 계급의 수이며 N 은 m 월의 일수이다.

$CDF_k(k_{ij}; m)$ 은 k 번째 관측소의 11년간 m 월에서 변수 x_{ij} 의 확률누적함수이고 $CDF_k(x_{ij}; y, m)$ 은 k 번째 관측소의 y 년 m 월에서 변수 x_{ij} 의 확률누적함수이다. 강릉지역의 일사량에 대한 연, 월별 FS 통계값은 Table 2와 같다.

식 (1)에서 계산된 FS 통계값은 지점의 변수에 대한 가중치 ($w_k(i)$)를 이용하여 식 (2)와 같이 정규화시킨 SWFS(Standard Weighting FS)를 계산하였고 기상요소들의 가중치는 0.25를 적용하였다. 여기서 M은 기상변수의 수인 5이다. 기상변수들에 대한 의존성을 줄이기 위하여 가중치는 동일하게 적용하였다.

Table 2. FS statistics of yearly and monthly solar radiation at Gangneung. Shaded cells are maximum FS statistics

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2000	0.32	0.26	0.25	0.17	0.10	0.04	0.11	0.05	0.04	0.08	0.10	0.09
2001	0.04	0.02	0.08	0.06	0.07	0.13	0.06	0.11	0.02	0.09	0.09	0.07
2002	0.03	0.10	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.04	0.06	0.16	0.11
2003	0.11	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.08	0.07	0.03	0.13	0.11	0.16
2004	0.20	0.22	0.19	0.13	0.05	0.08	0.05	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04
2005	0.15	0.07	0.14	0.06	0.07	0.05	0.09	0.10	0.05	0.03	0.13	0.18
2006	0.04	0.09	0.11	0.06	0.02	0.03	0.17	0.10	0.11	0.05	0.07	0.03
2007	0.06	0.02	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.03	0.14	0.06	0.06	0.04
2008	0.04	0.18	0.03	0.07	0.05	0.06	0.11	0.12	0.12	0.04	0.02	0.03
2009	0.10	0.07	0.04	0.11	0.08	0.03	0.09	0.04	0.12	0.11	0.12	0.06
2010	0.05	0.07	0.12	0.03	0.07	0.18	0.07	0.06	0.03	0.03	0.14	0.05

Table 3. TSWFS statistics of yearly and monthly at Gangneung. Shaded cells indicate 5 of TMM candidate year

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2000	1,931	2,204	2,138	2,052	1,940	1,962	1,953	2,048	2,001	1,907	1,908	2,024
2001	2,026	1,953	2,042	2,160	1,981	2,093	1,956	1,949	1,907	2,133	2,185	2,194
2002	1,785	2,084	2,026	1,905	1,926	2,042	1,935	2,116	1,960	1,754	2,042	1,821
2003	2,065	1,921	1,993	1,817	2,019	2,015	2,256	2,060	2,084	1,922	1,784	2,008
2004	2,050	1,960	2,037	1,990	1,844	1,954	1,908	1,916	2,041	2,012	2,100	1,903
2005	2,185	2,038	2,053	2,019	2,112	1,999	1,970	1,977	2,063	1,902	2,082	2,462
2006	1,876	1,900	2,056	1,821	1,922	1,961	2,182	2,013	1,885	2,211	1,914	1,963
2007	2,023	2,046	1,806	2,074	2,080	1,941	1,962	2,108	2,243	1,996	2,142	1,958
2008	1,909	2,344	2,103	2,063	2,036	1,987	2,022	1,747	2,008	2,039	1,945	1,868
2009	2,062	1,872	2,012	2,130	2,152	1,939	1,923	1,849	1,914	2,141	1,710	1,889
2010	2,089	1,677	1,735	1,969	1,988	2,107	1,933	2,216	1,894	1,982	2,188	1,910

$$SWFS_k(y,m) = \frac{WFS_k(y,m)}{\sum_{l=1}^{11} WFS_k(y(l),m)}, k=1,\dots,22, m=1,\dots,12 \quad (2)$$

여기서, $WFS_k(y,m) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M w_k(i) FS_k(x_i;y,m)$, (3)

$$TSWFS(y,m) = \sum_{k=1}^{22} SWFS_k(y,m) \quad (4)$$

SWFS 통계값은 일사관측소의 기상자료에 대한 FS 통계값을 정규화한 것이며 이 값들은 22개 일사관측소에 대하여 누적하여 TSWFS를 계산하고 TMM 후보년도 5개를 선택한다. 여기서 TMM 후보년도의 선택은 TSWFS의 값이 작고 최근의 것을 우선적으로 선택한다. TSWFS 통계는 특정 연, 월이 지닌 일사량의 정보를 나타내며 그 값이 작을수록 포함하고 있는 정보의 양은 더 많은 것으로 해석한다. Table 3은 SFWS의 통계값을 보여주는 것이며 이들 중 음영으로 나타낸 자료가 후보 TMM(Typical Meteorological Month)으로 선택된 자료이다. 1월과 7월의 TMM 후보년도는 각각 2000, 2002, 2006, 2007, 2008년과 2000, 2002, 2004, 2009, 2010년이

있고 Table 4에 TMM을 정리하였다.

TSWFS를 이용하여 선정된 TMM 중에서 최종적인 TMY를 선택하기 위하여 5개의 기상요소에 대하여 TMM 후보년도의 자료와 11년 동안의 관측된 자료의 일치관계를 측정할 수 있는 RMSD통계를 적용한다. TMM 후보년도의 RMSD는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$RMSD_{x_i}(y,m) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{d=1}^n (\bar{x}_i(y,m,d) - \bar{x}_i(m,d))^2}, i=1,\dots,5 \quad (5)$$

여기서, \bar{x} 는 후보년도인 y 년 m 월 d 일의 기상요소의 일평균값이며, \bar{x} 는 m 월 d 일의 11년 동안의 일평균값이다. 계산된 TMM들의 표준화는 Pissimanis방법(Pissimanis et al, 1998)⁽⁷⁾을 이용하여 표준화시키고 RMSD의 표준점수를 계산한다.

$$S_{x_i}(y,m) = \frac{\min_{j=1,\dots,5} RMSD_{x_i}(y(j),m)}{RMSD_{x_i}(y,m)}, j=1,\dots,5 \quad (6)$$

Table 4. Monthly top 5 candidate years of TMM

priority	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1	2002	2010	2010	2003	2004	2009	2004	2008	2006	2002	2009	2002
2	2006	2009	2007	2006	2006	2007	2009	2009	2010	2005	2003	2008
3	2008	2006	2003	2002	2002	2004	2010	2004	2001	2000	2000	2009
4	2000	2003	2009	2010	2000	2006	2002	2001	2009	2003	2006	2004
5	2007	2001	2002	2004	2001	2000	2000	2005	2002	2010	2008	2010

Table 5. TMM score for each TMM candidate years

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
0.724	0.749	0.740	0.826	0.850	0.796	0.898	0.865	0.803	0.765	0.867	0.841
0.839	0.835	0.801	0.905	0.932	0.895	0.829	0.879	0.773	0.927	0.790	1.000
0.811	0.877	0.942	0.781	0.910	0.858	0.988	0.884	0.889	0.856	0.900	0.938
0.726	0.986	0.856	0.849	0.965	0.971	0.868	0.961	0.862	0.875	0.911	0.968
0.985	0.848	0.951	0.966	0.900	0.902	0.891	0.879	0.955	0.912	0.997	0.919

Table 6. The TMY and TMM score for solar radiation data

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
TMY	2007	2003	2002	2004	2000	2006	2010	2001	2002	2005	2008	2008
TMM score	0.985	0.986	0.951	0.966	0.965	0.971	0.988	0.961	0.955	0.927	0.997	1.000

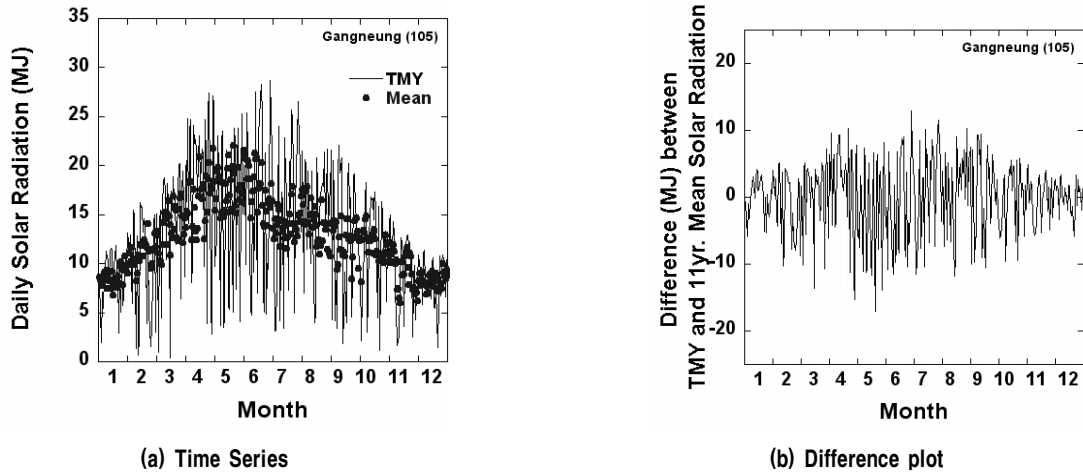


Fig. 3 Time series of TMY and 11 year mean daily solar radiation and its difference plot at Gangneung

이 식은 각 기상요소에 무관하게 최대값이 1이 되도록 표준화시킬 수 있으며 표준화된 값은 각 후보년도에 대하여 가중합을 계산할 수 있다.

$$S(y,m) = \sum_{i=1}^M w_{x_i} S_{x_i}(y,m) \quad (7)$$

TMY 선정을 위한 기상요소인 일사량, 기온, 이슬점온도, 풍속, 상대습도의 가중치(w_{x_i})는 Anderson 등(2006)⁽¹³⁾이 적용한 변수의 가중치를 수정하여 각각 0.5, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1을 적용하였다. 여기서 계산된 $S(y,m)$ 은 각 후보 TMM의 점수가 되며 이들 중 최고점수의 년도를 최종적인 TMY로 선택한다.

Table 4의 후보 TMM의 $S(y,m)$ 은 Table 5와 같고 최종 TMY는 Table 6과 같이 정리될 수 있다. TMY 자료는 연속적인 월로 1년을 구성하는 자료이기 때문에 각월의 연결은 인접한 각 월의 마지막날과 시작날의 각각 6시간을 선형내삽하여 연결한다. 강릉지역의 선정된 TMY와 11년 평균 일일 일사량 자료의 시계열과 편차는 Fig. 3과 같다.

3. 결과 및 토의

일사량 TMY의 평가는 기상자료를 이용하여 구축된 TMY의 자료와 11년 평균자료의 통계적 유사성에 기초하여 평가

하였다. Fig. 4는 강릉의 월평균 기온, 이슬점 온도, 풍속 및 상대습도이며 각 변수에 대한 편차(%)이다. 강릉지역은 전체 변수들에 대하여 1월부터 4월 그리고 12월에 편차가 크게 나타났다. 이러한 편차의 원인은 다른 지역과 비교하여 강릉지역의 겨울철 날씨특성이 온난하고 습윤한 영동기류 등에 의한 국지성 기상현상이 나타나기 때문인 것으로 분석된다.

Table 5는 22개 지점의 일일 자료를 이용하여 월별 상관계수를 나타낸 것이다. 평균 상관계수는 0.40이었고 4월의 상관계수가 0.57로 가장 높았고 5월의 상관계수가 0.23으로 가장 낮았다. 지역적으로는 전주가 평균 0.57로 가장 높았으며 강릉과 고산에서 평균 0.31로 가장 낮았다. TMY 5월의 상관성이 가장 낮은 것은 황사 및 연무 등의 기상변화가 많고 한반도의 평균 일사량과 비교하여 지역적으로 편차가 심하기 때문인 것으로 분석된다. 또한 고산과 강릉지역의 상관성이 낮은 이유도 지역적으로 해양의 영향을 받고 기상현상이 복잡하게 나타나기 때문이다. 특히 강릉의 8월과 고산의 11월은 다른 지역과 비교하여 기상현상과 일사량의 변화가 한반도의 평균상태와는 반대의 경향을 가지고 변하는 것으로 분석된다.

22개 지점의 TMY 월일일 일사량과 11년 평균 월일일 일사량의 통계값은 Table 7과 같이 정리된다. TMY와 11년 평균의 평균 월일일 일사량은 411.72 MJ과 407.95 MJ로서 TMY의 일사량이 약 4 MJ 정도 크게 나타났다. 또한 11년 평균값과 비교하여 일변화 및 시간변화가 그대로 적용되는 TMY의 표준편차가 평균 9 MJ 이상 높게 나타났다. 평균 상관계수는

0.71이었고 5월의 상관성이 0.43으로 가장 낮았으며 1월의 상관성이 0.90으로 가장 높게 나타났다. 또한 평방근오차는 3월에 가장 작았고 5월에 가장 컸다. Fig. 4와 Table 7에서 나타난 것과 동일하게 TMY 5월의 일사량은 평균상태의 일사량과 편차가 크고 지역적으로 변동성이 심한 것으로 분석된다.

Fig. 5는 TMY의 연누적 일사량과 11년 평균 일사량의 편차를 공간적으로 나타낸 것이다. TMY의 연누적 일사량은 남해안과 전남지역이 높게 나타났으며 상대적으로 서울과 경기와 경북지역이 낮게 나타났다. 11년 평균 일사량과의 차이는 경북에서 평균값에 비하여 100 MJ 이상 높게 나타났고 제주도에서 200 MJ 이상 낮게 나타났으며 전북과 전남에서 125 MJ 이상 높게 나타났다. 이러한 편차는 11년 평균과 비교하여 기상상태가 불안정한 것을 의미하며 TMY를 이용하여 남한 전체의 태양에너지의 상태를 파악하는 것은 일정 수준의 오차를 감안해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

일사량자료를 이용한 태양에너지의 연구에 있어서 장기간의 자료 또는 평균 자료를 이용하기에는 시간적 제약과 정밀한 현상을 표현하는 것에 있어 많은 문제를 내포한다. 따라서 이 연구에서는 11년 동안 일사관측소에서 관측된 기상자료와 일사량 자료를 이용하여 일사량의 TMY를 설정하였다. TMY 설정의 방법은 각 지점의 변수별 FS통계방법을 적용하여 수행되며 각 지점별 통계값을 정규화하고 통계분석하여 우선적으로 5개의 TMM 후보를 선정하고 전체지점의 평균오차를 평가한 후 점수가 높은 TMM을 선정하여 최종 TMY를 구축하였다. TMM 사이의 연속성을 고려하여 TMM의 시간 자료를 선형 내삽하여 1년 기간에 대해 연속성을 갖는 TMY를 생성하였다.

TMY 자료는 시간별로 변화하는 기상상태를 반영하면서도 평균상태와 가장 가까운 상태를 표현하는 장점이 있다. 22개

Table 9. Correlation between TMY and 11 year mean daily solar radiation(MJ)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	AVE
100	0,01	0,31	0,47	0,60	0,31	0,52	0,34	0,37	0,53	0,41	0,66	0,42	0,41
101	0,11	0,51	0,28	0,60	0,35	0,38	0,53	0,06	0,24	0,41	0,37	0,50	0,36
105	0,08	0,41	0,32	0,39	0,32	0,42	0,43	-0,29	0,24	0,39	0,62	0,39	0,31
108	0,36	0,35	0,33	0,67	0,17	0,51	0,54	0,16	0,48	0,31	0,33	0,54	0,40
112	0,33	0,39	0,34	0,69	0,15	0,45	0,21	0,31	0,20	0,41	0,37	0,41	0,35
114	0,11	0,48	0,40	0,63	0,28	0,37	0,42	0,13	0,28	0,23	0,47	0,29	0,34
119	0,41	0,39	0,43	0,69	0,25	0,51	0,33	0,28	0,41	0,38	0,31	0,45	0,40
129	0,30	0,34	0,42	0,67	0,27	0,53	0,45	0,33	0,31	0,29	0,47	0,29	0,39
131	0,30	0,56	0,47	0,70	0,21	0,54	0,53	0,14	0,37	0,33	0,47	0,33	0,41
133	0,24	0,54	0,51	0,63	0,19	0,54	0,54	0,05	0,41	0,34	0,55	0,47	0,42
135	0,36	0,39	0,44	0,53	0,19	0,60	0,62	0,17	0,44	0,28	0,53	0,51	0,42
136	0,36	0,52	0,40	0,53	0,25	0,36	0,55	0,34	0,33	0,25	0,65	0,56	0,42
138	0,36	0,45	0,54	0,40	0,41	0,38	0,71	0,41	0,32	0,13	0,37	0,52	0,42
143	0,48	0,54	0,37	0,52	0,26	0,47	0,60	0,35	0,42	0,28	0,53	0,52	0,44
146	0,28	0,46	0,54	0,63	0,26	0,57	0,58	0,13	0,51	0,41	0,46	0,62	0,46
156	0,30	0,47	0,54	0,61	0,26	0,56	0,57	0,29	0,50	0,40	0,35	0,41	0,44
159	0,53	0,49	0,47	0,41	0,30	0,45	0,62	0,49	0,31	0,30	0,17	0,63	0,43
165	0,40	0,56	0,55	0,62	0,16	0,59	0,59	0,48	0,49	0,38	0,23	0,33	0,45
169	0,63	0,47	0,54	0,60	0,19	0,54	0,39	0,36	0,22	0,34	0,10	0,39	0,40
184	0,14	0,41	0,52	0,50	0,21	0,49	0,35	0,48	0,30	0,31	0,07	0,14	0,33
185	0,16	0,30	0,53	0,51	0,09	0,54	0,34	0,45	0,45	0,33	-0,11	0,11	0,31
192	0,47	0,48	0,46	0,37	0,29	0,55	0,54	0,40	0,40	0,33	0,21	0,57	0,42
AVE	0,31	0,45	0,45	0,57	0,24	0,49	0,49	0,27	0,37	0,33	0,37	0,43	0,40

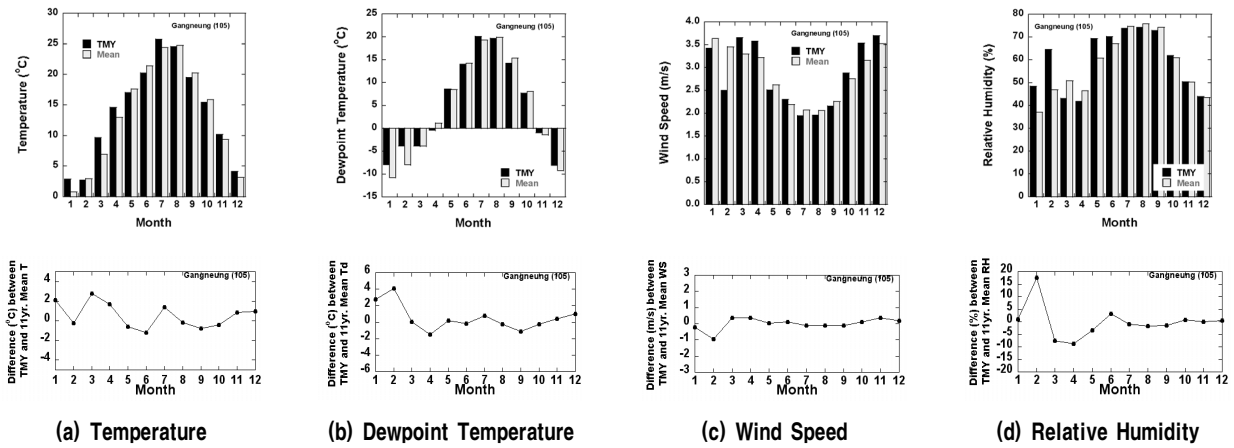


Fig. 4 Monthly mean temperature, dewpoint temperature, wind speed and relative humidity of TMY and 11 year mean at Gangneung

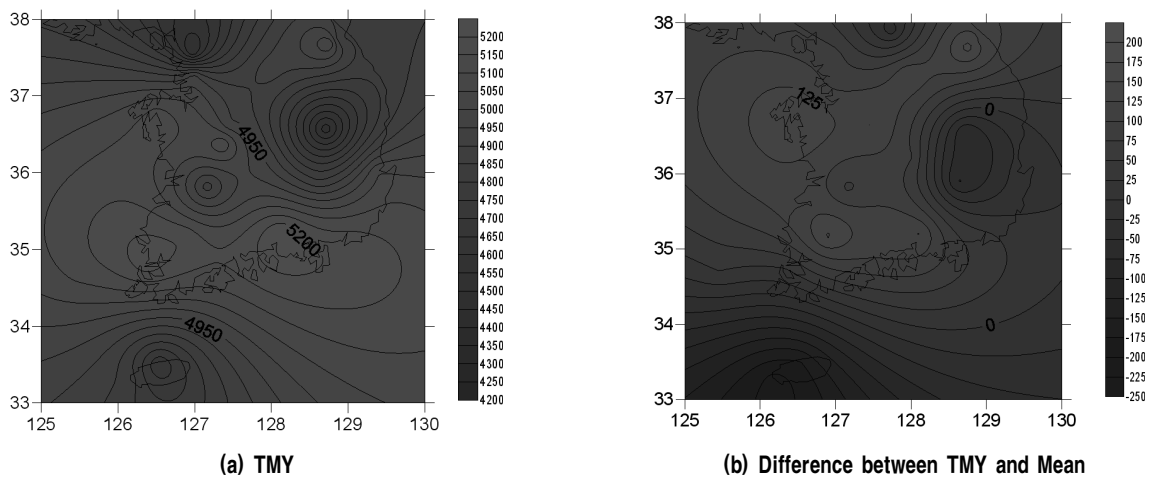


Fig. 5 Annual solar radiation calculated from TMY and the difference map between TMY and 11 year mean solar radiation

일사관측소와 월별 상관성을 평가하였을 때 평균 상관계수는 0.40이었고 4월의 상관계수가 0.57로 가장 높았고 5월의 상관계수가 0.23으로 가장 낮았다. 지역적으로는 전주가 평균 0.57로 가장 높았으며 강릉과 고산에서 평균 0.31로 가장 낮았다. 특히 5월의 상관성이 가장 낮은 것은 황사와 변화가 심한 기상현상이 많고 한반도의 평균 일사량과 비교하여 다른 월과 비교하여 지역적으로 편차가 심하기 때문인 것으로 분석된다. TMY 월별 일사량은 411.72 MJ이었으며 TMY의 일사량이 약 4 MJ 정도 크게 나타났고 11년 평균자료와 비교하여 표준편차가 평균 9 MJ 이상 높게 나타났다. 평균 상관계수는 0.71이었고 5월의 상관성이 0.43으로 가장 낮았으며

1월의 상관성이 0.90으로 가장 크게 나타났다. 평방근 오차는 3월에 가장 작았고 5월에 가장 컸다. TMY로 계산된 연누적 일사량은 남해안과 전남지역이 높게 나타났으며 상대적으로 서울과 경기와 경북지역이 낮게 나타났다. 11년 평균 일사량과의 차이는 경북에서 평균값에 비하여 100 MJ 이상 높게 나타났고 제주도에서 200 MJ 이상 낮게 나타났으며 전북과 전남에서 125 MJ 이상 높게 나타났다.

TMY 자료를 이용한 태양에너지 연구는 평균상태와 가장 유사한 자료를 이용하기 때문에 시간적 변화를 살펴볼 수 있으나 일정 수준의 오차를 감안해야 할 것으로 분석된다. 일사량 TMY 자료는 일사량뿐만 아니라 기상자료를 이용하여 선

택된 자료로서 태양 에너지 모델링이나 에너지발전 사전평가 등의 입력자료로 사용될 수 있으며 기후효과를 반영한 에너지 평가와 기상현상을 고려한 에너지발전 등의 기초자료로 적용될 수 있다.

후 기

이 연구는 2011년 국립기상연구소 “녹색성장 지원기술 개발연구” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 국립기상연구소, 2010, 녹색성장 지원기술개발 연구. 국립기상연구소 응용기상연구과, 11-13600000-000730-10, p. 173.
- [2] 김영득, 안인수, 김민수, 장정호, 장문성, 2008, 태양광입지 선정을 위한 지형분석방법 소개 및 영향분석, 한국신재생에너지학회, Vol. 4, No. 4, pp. 3-9.
- [3] 김혜중, 정선, 최영진, 김규량, 정영림, 2009, 한반도 바람자원의 TMY(typical meteorological year) 구축 알고리즘에 관한 연구, 응용통계, Vol. 22, No. 5, pp. 943-960.
- [4] 유호천, 이관호, 김경률, 박소희, 2007, TRY 방법론에 의한 표준일사량 데이터 평가, 한국생태환경건축학회논문집, Vol. 7, No. 6, pp. 23-28.
- [5] 윤종호, 2003, 건물에너지 성능평가를 위한 표준기상자료의 국내외 현황, 대한 설비공학회, 설비저널, Vol. 32, No. 8, pp. 7-14.
- [6] 이규태, 조일성, 지준범, 최영진, 2011, 한반도에서 해상도 변화에 따른 지표면 일사량의 시공간 분포, 한국신재생에너지학회, Vol. 7, No. 1, pp. 22-28.
- [7] Anderson T. N., M. Duke, and Carson J. K., 2006, A Typical Meteorological Year for Energy Simulation in Hamilton, New Zealand, IPENZ engineering trenNz 2007-003, ISBN 1177-0422.
- [8] Finkelstein J. M. and R. E. Schafer, 1971, Improved goodness of fit tests, Biometrika, 58, pp. 641-645.
- [9] Graham L. M. and L. Alex, 1999, Condensed Solar Radiation Data Base for Australia, Solar Thermal Energy Lab., Australia, Report 1.
- [10] Hall, I., R. Prairie, H. Anderson, and E. Boes, 1978, Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOLMET Status. SAND78-1601, NM, Sandia National Laboratory, Sandia Laboratories Report SAND 78-1601, p. 31.
- [11] Klein, S. A., P. I. Cooper, T. L. Freeman, D. M. Beekman, W. A. Beckman, and J. A. Duffie, 1975, A method of simulation of solar processes and its applications, Solar Energy, 17, pp. 29-37.
- [12] Pissimanis, D., G. Karras, V. Notaridou, and K. Gavra, 1988, The Generation of a Typical Meteorological Year for the city of Athens, Solar Energy, 40, pp. 405-411.
- [13] Rahman, L. A. and J. Dewsbury, 2007, Selection of typical weather data(test reference years) for Subang, Malaysia, Building and Environment, Vol. 42, No. 1, pp. 3636-3641.
- [14] Said S. A. M. and H. M. Kardy, 1994, Generation of representative weather-Year data for Saudi Arabia, Applied Energy, Vol. 48, No. 2, pp. 131-136.
- [15] Wilcox S. and M. William, 2008, User's Manual TMY3 Data Sets, Colorado, NREL, NREL/TP-581-43156, pp. 56.
- [16] William M. and U. Ken, 1995, User's Manual for TMY2s typical meteorological years. Colorado, NREL, NREL/TP-463-7618, pp. 55.
- [17] Zhou J., Y. Wu, and G. Yan, 2006, Generation of Typical Solar Radiation Year for China, Renewable Energy, 31, pp. 1972-1985.

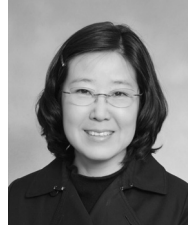
지준범



1999년 강릉대학교 대기환경과학과 이학사
2001년 강릉대학교 대기환경과학과 이학석사
2008년 강릉대학교 대기환경과학과 이학박사

현재 국립기상연구소 응용기상연구과 선임연구원
(E-mail : jbjee@korea.kr)

최영진



1981년 연세대학교 천문기상학과 이학사
1984년 연세대학교 대기과학과 이학석사
2003년 연세대학교 대기과학과 이학박사

현재 국립기상연구소 응용기상연구과 과장
(E-mail : yjchoikma@korea.kr)

이승우



1994년 서울대학교 대기과학과 이학사
1996년 서울대학교 대기과학과 이학석사
2011년 서울대학교 대기과학과 이학박사

현재 기상청 수치모델개발과 기상연구관
(E-mail : redparis@korea.kr)

이규태



1981년 연세대학교 대기과학과 이학사
1983년 연세대학교 대기과학과 이학석사
1992년 연세대학교 대기과학과 이학박사

현재 강릉원주대학교 대기환경과학과 정교수
(E-mail : ktlee@gwnu.ac.kr)