

우리나라 지역별 청명도 예측 모델을 이용한 월평균 수평면 일사량 산출

김진호*, 김민휘*, 권오현*, 석윤진*, 정재원**

*세종대학교 대학원 건축공학과 (kimjh@sju.ac.kr/ icanflyhigh@naver.com/ ohhyn@naver.com/ ss5330@naver.com)
**세종대학교 건축공학과 (jjwarc@sju.ac.kr)

Generation of monthly averaged horizontal Radiation based on a regional clearness estimating model

Kim, Jin-Hyo* Kim, Min-Hwi* Kwon, Oh-Hyun* Seok, Yoon-Jin* Jeong, Jae-Weon**

*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University
(kimjh@sju.ac.kr/ icanflyhigh@naver.com/ ohhyn@naver.com/ ss5330@naver.com)
**Dept. of Architectural Engineering, Sejong University (jjwarc@sejong.ac.kr)

Abstract

The main thrust of this paper is to investigate a practical way of generating the monthly averaged daily horizontal solar radiation in Korea. For estimating the horizontal solar radiation, the clearness index(K_T) and the clearness number(C_N) which are required for the use of Liu and Jordan's model and ASHRAE Clear Sky model were derived based on the measured weather data. Third-order polynomials returning K_T and C_N for a given location were derived as a function of cloud amount, month, date, latitude and longitude. The predicted monthly averaged daily horizontal solar radiation values were compared with those acquired from the established design weather data. The MBE(Mean Bias Error) and RMSE (Root Mean Squares for Error) between the predicted values and the measured data were near zero. It means that the suggested third-order polynomials for K_T and C_N have good applicability to Liu and Jordan's model and ASHRAE Clear Sky model.

Keywords : 청명도 계수(Clearness Index), 청명도 상수 (Clearness Number), 수평면 전일사량 (Horizontal Solar Radiation), 일사량 예측모델 (Radiation Prediction Model)

투고일자 : 2010년 3월 4일, 심사일자 : 2010년 3월 15일, 게재확정일자 : 2010년 4월 18일
교신저자 : 정재원(jjwarc@sejong.ac.kr)

기 호 설 명

G_{sc}	: 태양상수
ϕ	: 위도
δ	: 일적위
θ_z	: 천정각
θ	: 입사각
ω_s	: 수평면 일몰 시간각
α_s	: 태양고도
A	: ASHRAE Correction factor
B	: ASHRAE Correction factor
C	: ASHRAE Correction factor
G_b	: 직달 일사량
G_d	: 산란 일사량
G_t	: 수평면 전일사량
\overline{H}	: 월 평균 수평면 전일사량
\overline{H}_o	: 월 평균대기권 밖 수평면 전일사량
\overline{K}_T	: 청명도 지수(Clearness Index)
C_N	: 청명도 상수(Clearness Number)
α_n	: \overline{K}_T, C_N 모델 계수

1. 서 론

2007년 기준 국내 소비에너지 중 신재생에너지가 차지하는 비율은 전체의 3.2%로 매우 낮은 비율을 보이고 있다[1]. 그러나 2008년 이후 정부의 친환경 녹색 에너지 기술개발 및 보급 확대 정책에 따라 태양열, 태양광, 풍력, 지열, 핵융합 등의 기술개발이 매우 활발히 진행되고 있다. 그 중 태양열 및 태양광 (이하 태양에너지) 이용기술은 건물 분야에 있어 특히 실용화가 두드러진 신재생에너지원으로써 과거에 비해 더 많은 활용이 기대되고 있다.

다양한 태양에너지 이용 시스템 설계에 있어서 가장 중요한 자료는 설치 대상지역의 일사량 자료이다. 일반적으로 기상자료 등을 통해 입수한 수평면 일사량을 바탕으로 경사면에 입사되는 일사량을 산정하여 설계단계에서부터 해당 태양에너지 시스템의 소요규모 및 연간 활용도 등을 예측 할 수 있다.

현재 국내의 일사량 데이터는 기상청자료[2]

와 한국태양에너지학회에서 제공하는 표준기상자료[3] 등이 널리 사용되고 있다. 그러나 이들 자료는 국내 주요 도시들을 중심으로 제공되고 있어, 그 외의 지역들은 현재 기상자료가 제공되는 인접 대도시의 기상자료를 준용하고 있다.

한편, 실측에 기반 한 기상자료 등이 없는 지역의 경우는 기존 연구[4-5]를 통한 일사량 예측 모델 등을 활용하여 설계에 필요한 일사량 데이터를 얻을 수도 있다. 그러나 이들 모델은 월별, 지역별 상수와 일조율 등의 경험적 상수를 필요로 한다. 또한, 전 세계적으로 널리 알려져 있는 Liu and Jordan의[6] 일사량 예측모델이나 미국 냉동공조학회의 ASHRAE Clear Sky 모델의[7] 경우도 이들 모델 활용에 필수적인 국내 지역별 기상조건에 맞는 청명도 지수(Clearness Index, K_T)나 청명도 상수(Clearness Number, C_N)가 존재하지 않아 국내에서는 널리 사용되지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 세계적으로 널리 활용되어 온 Liu and Jordan의 일사량 예측모델 과 미국 냉동공조학회의 ASHRAE Clear Sky 모델에 적용 가능한 국내 지역별 K_T 및 C_N 산정 모델을 제시하고, 이를 기반으로 우리나라에서 실측된 일사량 데이터가 없는 지역에 대해 설계용 일사량을 얻을 수 있는 효과적인 방안을 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경

(1) Liu and Jordan의 모델

청명한 날을 포함해 다양한 담천공 조건을 고려한 일사량 예측을 위해 해당 지역의 청명도 지수를 이용하는 방법이 제안되었다. 청명도 지수는 대기권 밖 수평면 전일사량과 해당 지역 지표면에서의 수평면 전일사량의 비율로 정의되는데, 예를 들어 해당지역의 월평균 수평면 전일사량(\overline{H})과 월평균 대기권 밖 수평면 전일사량(\overline{H}_o)을 식 (1)에 대입하여 월평균 청명도 지수(\overline{K}_T)를 얻을 수 있다.

여기서 \overline{H}_o 은 식 (2)로 산정한다. 청명도 지수는 0과 1사이의 값을 가지며, 청명도 지수가 높을수록 대기를 통과해서 지표면에 도달하는 일사량이 증가한다는 것을 의미한다.

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_o} \quad (1)$$

$$\overline{H}_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} (1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}) \times (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta) \quad (2)$$

따라서, 임의의 지역의 $\overline{K_T}$ 를 알 수 있을 경우 식 (1)과 식 (2)를 이용해 \overline{H} 를 예측할 수 있다. 또한, Erbs 등은[8] $\overline{K_T}$ 값에 따라 \overline{H} 에서 확산 및 직달 일사량을 분리하는 모델도 제안하였다.

(2) ASHRAE Clear Sky 모델

ASHRAE Clear Sky 모델은 매달 21일을 기준일로 하여 식 (3)을 이용해 해당지역의 청명한 날에 대한 월평균 수평면 직달(G_b), 확산(G_d), 전일사량(G_t)을 예측한다 식 (4) - 식 (6). 또한, 해당지역 대기의 청명도에 따라 지표면에 도달하는 일사량의 증감을 고려하기 위해 청명도 상수(C_N)를 적용한다. C_N 은 청명한 날을 1.0으로 하고 대기의 청명도가 떨어질수록 감소한다.

$$G_{ND} = \frac{A}{\exp(B/\sin \alpha_s)} C_N \quad (3)$$

$$G_b = G_{ND} \cos \theta \quad (4)$$

$$G_d = C \times G_{ND} \quad (5)$$

$$G_t = G_b + G_d \quad (6)$$

미국의 경우 1989년 미국 내 각 지역의 위도, 경도 별로 C_N 값을 설정하였으나 이것은 미국의 지역별 대기조건을 기준으로 한 것으로 우리나라에 직접 적용하기는 어렵다. ASHRAE Clear Sky 모델을 우리나라에 적용하기 위해서는

국내 지역별로 적절한 C_N 값이 설정되어야 한다.

3. 국내 지역별 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델

국내의 기상관측에서는 운량으로 지역별 대기의 청명도를 나타내고 있다. 관측자의 시야에 구름이 없는 청명한 날의 운량을 0으로 하고 대기 중 구름의 양에 따라 0-10 사이의 값으로 운량을 나타내고 있다.

따라서 본 연구에서는 Liu and Jordan의 모델이나 ASHRAE Clear Sky 모델로 국내 임의의 지역에 대한 수평면 일사량을 구하는데 필수적으로 요구되는 청명도 지수(K_T)와 청명도 상수(C_N)를 제공하는 수치모델을 기상청에서 최근 5년간 실측한 국내 지역별 월평균 운량 및 수평면 전일사량 관측 자료를 바탕으로 도출하였다. 도출된 K_T 와 C_N 예측 모델은 서울경기, 충청도, 강원도, 경상도, 전라도, 제주도 권의 6권역별로 나누어 적용할 수 있도록 하였다.

(1) $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델

지역별로 수년간 실측된 월별 수평면 전일사량 자료를 (식 1)에 대입하여 청명도 지수 $\overline{K_T}$ 데이터 풀(pool)을 생성하고, 이를 바탕으로 $\overline{K_T}$ 값을 운량(CL), 월(M), 일(D), 및 해당 지역의 위도(la), 경도(lo)와의 상관관계로 나타내는 3차 선형방정식(3rd-order polynomial)을 유도하였다. 식 (7)에서 $\alpha_1 - \alpha_{56}$ 은 6개의 권역별로 각각 다른 값을 갖는다 (표 4).

한편, 실측된 월별 수평면 전일사량 자료와 식 (3) - 식 (5)를 이용하여 C_N 데이터 풀(pool)을 생성하고, 이를 바탕으로 지역별 C_N 값을 예측할 수 있는 식 (7)과 같은 형태의 3차 선형방정식을 유도하였다. 이때도 역시 $\alpha_1 - \alpha_{56}$ 은 6개의 권역별로 각각 다른 값을 갖는다 (표 5).

$$\begin{aligned}
 K_T \text{ (or } C_N) = & \alpha_1 + \alpha_2 \times CL + \alpha_3 \times CL^2 + \alpha_4 \times CL^3 + \alpha_5 \times M \\
 & + \alpha_6 \times M^2 + \alpha_7 \times M^3 + \alpha_8 \times D + \alpha_9 \times D^2 + \alpha_{10} \times D^3 \\
 & + \alpha_{11} \times la + \alpha_{12} \times la^2 + \alpha_{13} \times la^3 + \alpha_{14} \times lo + \alpha_{15} \times lo^2 \\
 & + \alpha_{16} \times lo^3 + \alpha_{17} \times CL \times M + \alpha_{18} \times CL \times M^2 \\
 & + \alpha_{19} \times CL \times D + \alpha_{20} \times CL \times D^2 + \alpha_{21} \times CL \times la \\
 & + \alpha_{22} \times CL \times la^2 + \alpha_{23} \times CL \times lo + \alpha_{24} \times CL \times lo^2 \\
 & + \alpha_{25} \times CL^2 \times M + \alpha_{26} \times CL^2 \times M^2 + \alpha_{27} \times CL^2 \times D \\
 & + \alpha_{28} \times CL^2 \times D^2 + \alpha_{29} \times CL^2 \times la \\
 & + \alpha_{30} \times CL^2 \times la^2 + \alpha_{31} \times CL^2 \times lo \\
 & + \alpha_{32} \times CL^2 \times lo^2 + \alpha_{33} \times M \times D + \alpha_{34} \times M \times D^2 \\
 & + \alpha_{35} \times M \times la + \alpha_{36} \times M \times la^2 + \alpha_{37} \times M \times lo \\
 & + \alpha_{38} \times M \times lo^2 + \alpha_{39} \times M^2 \times D + \alpha_{40} \times M^2 \times D^2 \\
 & + \alpha_{41} \times M^2 \times la + \alpha_{42} \times M^2 \times la^2 + \alpha_{43} \times M^2 \times lo \\
 & + \alpha_{44} \times M^2 \times lo^2 + \alpha_{45} \times D \times la + \alpha_{46} \times D \times la^2 \\
 & + \alpha_{47} \times D \times lo + \alpha_{48} \times D \times lo^2 + \alpha_{49} \times D^2 \times la \\
 & + \alpha_{50} \times D^2 \times la^2 + \alpha_{51} \times D^2 \times lo + \alpha_{52} \times D^2 \times lo^2 \\
 & + \alpha_{53} \times la \times lo + \alpha_{54} \times la \times lo^2 + \alpha_{55} \times la^2 \times lo \\
 & + \alpha_{56} \times la^2 \times lo^2
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

(2) 권역별 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델의 상관도

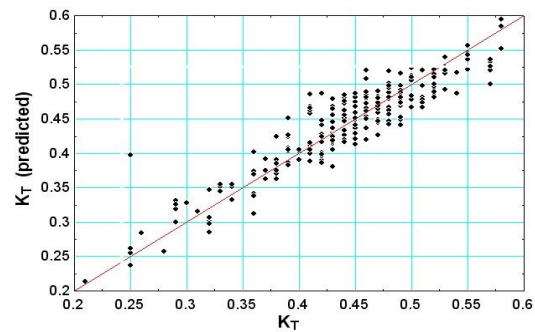
$\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델 도출을 위해 각 권역 내 실측 월평균 수평면 전일사량과 운량 데이터가 존재하는 주요 도시들의 기상청 자료를 사용하였으며, 일부 운량 데이터만 존재하는 도시들에 대해서는 수평면 일사량 데이터가 존재하는 인접 도시들의 일사량 평균값을 적용 하였다. (표 1)에는 각 권역별로 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델 도출을 위해 사용된 월평균 수평면 전 일사량 및 운량 데이터를 얻은 도시들과, 예측 모델 및 사용된 데이터 간의 통계적 신뢰도를 나타내는 R^2 값을 정리하였다. 본 연구에서 도출된 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델은 모든 권역에서 0.80-0.86의 비교적 양호한 R^2 값을 나타내었다.

그림 1은 서울지역의 실측 수평면 전일사량으로부터 얻어진 $\overline{K_T}$ 및 C_N 값과 식 (7)의 예측 모델을 통해 산정한 예측값들의 상관도를 나타 낸 것이다. 그림 1에서 실선으로 나타낸 대각선은 실측값과 예측값이 정확하게 일치할 경우를 나타내는데, 예측모델의 정확도가 높을수록 실측값과 예측값의 상관도를 나타내는 점들이 이 대각선에 근접하게 위치하게 된다. 서울지역의 경우는 그림 1에서 보듯이 실측값과 예측값 간

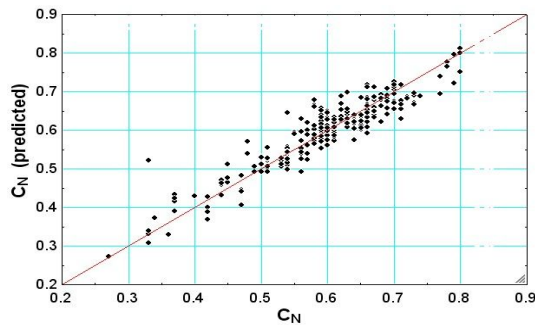
에 비교적 양호한 상관도를 나타내는 것을 알 수 있다. 지면의 제약으로 다른 지역에 대한 상관도 분석은 생략하였으나 본 연구에서 도출된 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델은 다른 도시에 대해서도 매우 양호한 상관도를 나타내었다.

표 1. 권역별 도시명 및 청명도 예측모델의 R² 값

권역	도시	R ² 값	
		$\overline{K_T}$ 모델	C_N 모델
서울/경기	서울, 수원, 인천, 동두천, 문산	0.86	0.86
충청	서산, 청주, 대전, 충주	0.86	0.86
강원	춘천, 강릉, 원주, 속초, 철원, 동해, 영월	0.86	0.86
경상	부산, 포항, 울산, 진주, 대구, 안동, 울진, 상주, 마산, 통영	0.80	0.86
전라	광주, 흑산, 목포, 전주, 군산, 여수, 완도, 진도	0.80	0.86
제주	제주, 고산, 서귀포	0.86	0.86



(a) 청명도 지수 $\overline{K_T}$



(b) 청명도 상수 C_N

그림 1. 모델 예측값과 실측값의 상관도 (서울)

4. $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델을 적용한 일사량 예측 결과 비교

현재 국내에서 많이 활용되는 기상자료에는 기상청에서 제공되는 기상월보가 있다. 기상월보는 전국의 98개 도시의 실측데이터로 매해 작성되며, 이중 43개 도시에 대해서는 상세한 기상정보를 알 수 있다. 또한, 한국태양에너지학회에서 2009년부터 제공하는 대한민국 표준기상자료가 있는데, 이것은 1986년부터 2005년까지 20년간의 기상청의 자료를 TRY(Test Reference Year)형식으로 만든 데이터이다. 이외에도 미국의 DOE-2, Energy Plus, TRNSYS 등과 같은 에너지해석 프로그램용으로 미국에서 제작된 기상자료도 사용되어 왔다.

(1) 일사량 예측결과 비교 - 기상월보

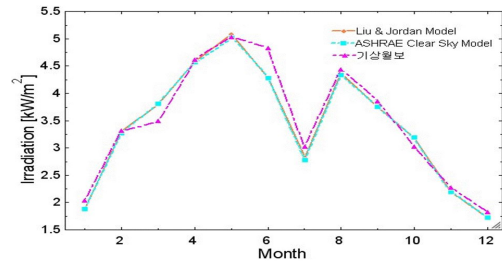
본 절에서는 Liu and Jordan의 일사량 예측 모델과 미국 냉동공조학회의 ASHRAE Clear Sky 모델에 식 (7)로 주어진 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델을 접목하여 국내 임의의 지역에 대한 수평면 전일사량을 산정하였다. 그런 다음 2008년 기상청 기상월보의 월평균 수평면 전일사량 실측 데이터와 비교함으로써 그 적용성을 검토하였다.

월평균 전일사량 예측은 각 권역별로 대부분의 도시들에 대해 실시하였으나 지면의 제한으로 본 논문에서는 일부 주요도시에 대한 예측값과 실측값 비교 결과를 기술하였다. (그림 2)에서 보듯이 각 도시별로 다소 차이는 있으나 예측된 월평균 수평면 전일사량이 기상월보의 실측값과 매우 유사한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

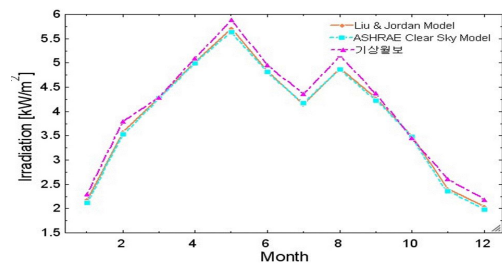
(2) 일사량 예측결과 비교 - 표준기상자료

본 연구에서는 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델을 바탕으로 예측한 월평균 수평면 전일사량을 한국태양에너지학회의 표준기상자료를 통해 얻어진 11개 주요도시에 대한 값과 비교하였

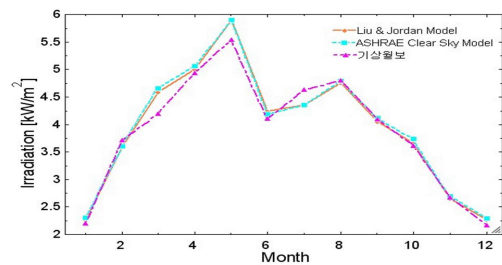
다. 본 논문에는 생략하였으나 제안된 예측 모델을 바탕으로 산정된 수평면 전일사량은 도시들에서 표준기상자료에서 얻어진 값과 거의 유사한 값을 나타내었다. 그러나 울산과 여수, 2개의 도시에 대한 표준기상자료는



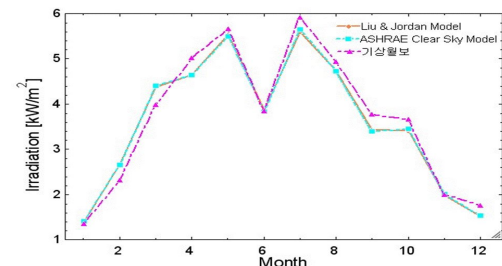
(a) 서울



(b) 대전



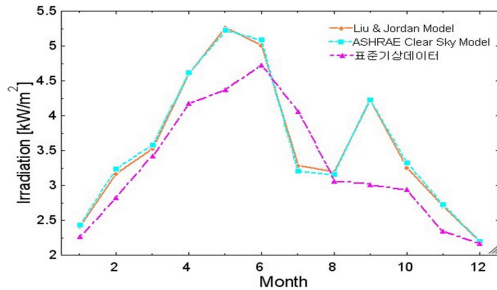
(c) 광주



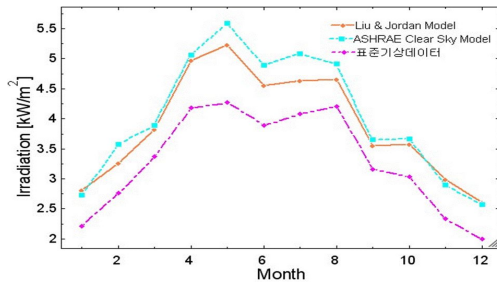
(d) 제주

그림 2. 수평면 전일사량 비교 (기상월보)

예측값과 다소 차이를 보였다 (그림 3). 여수와 울산의 경우 표준기상자료에서 얻어진 월평균 수평면 전일사량은 일사량 예측 모델로부터 얻어진 값에 비해 다소 낮게 나타났다. 이러한 차이의 원인은 제안된 $\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델은 최근 5년간의 기상청 자료를, 표준기상자료는 지난 20년간의 실측자료를 기반으로 하고 있는데, 이들 두 지역의 경우는 다른 지역들에 비해 두 데이터 풀 간에 다소 차이를 보이기 때문으로 판단된다.



(a) 여수



(b) 울산

그림 3. 수평면 전일사량 비교 (표준기상자료)

(3) 일사량 예측결과와 통계적 신뢰도 검토

$\overline{K_T}$ 및 C_N 예측 모델을 바탕으로 예측한 월평균 수평면 전일사량과 기상월보의 실측된 일사량 자료를 MBE(Mean Bias Error) 및 RMSE(Root Mean Squares for Error)를 이용하여 그 통계적 신뢰성을 검토하였다. MBE는 식 (7) 계산된 데이터와 측정된 실제 데이터 간의 편차를 비교하는 위한 것으로 이상적인

값은 0이다.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{H_{pred,i}} - \overline{H_{obs,i}})}{n} \quad (7)$$

여기서,

$\overline{H_{pred,i}}$: 예측 월평균 전일사량의 i번째 값

$\overline{H_{obs,i}}$: 실측 월평균 전일사량의 i번째 값

n : 데이터의 양

RMSE는 식 (8) 예측모델의 신뢰도를 판단하는 기준으로 사용되는데, RMSE의 값이 0에 가까울수록 신뢰도가 높은 것으로 볼 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{H_{pred,i}} - \overline{H_{obs,i}})^2}{n}} \quad (8)$$

표 2. MBE 및 RMSE 비교 (기상월보)

		강릉	서울
MBE	Model I*	0.036	0.014
	Model II**	-0.036	-0.018
RMSE	Model I	0.374	0.298
	Model II	0.355	0.303
		대전	광주
MBE	Model I	-0.002	-0.043
	Model II	0	-0.258
RMSE	Model I	0.313	0.296
	Model II	0.289	0.415
		부산	제주
MBE	Model I	0.065	0.017
	Model II	-0.021	-0.002
RMSE	Model I	0.377	0.37
	Model II	0.336	0.36

Model I* - ASHARE Clear Sky Model

Model II** - Liu and Jordan Model

(표 2)에서 보듯이 국내 6개 주요도시에 대해 예측한 월평균 수평면 전일사량과 기상월보의 해당 도시에 대한 실측값을 가지고 산정한 MBE와 RMSE는 0에 수렴하는 값을 보였다.

한편, 울산과 여수는 대한민국 표준기상자

료를 토대로 얻어진 월평균 수평면 전일사량을 가지고 예측값의 통계적 신뢰도를 평가하였다 (표 3). 앞의 6개 도시에 비해 MBE와 RMSE의 차이가 있지만, 그 차이가 크지 않고 0에 수렴하는 값을 보이고 있다.

표 3. MBE 및 RMSE 비교 (표준기상데이터)

		울산	여수
MBE	Model I	0.193	0.002
	Model II	0.157	0.033
RMSE	Model I	0.419	0.325
	Model II	0.369	0.321

5. 결 론

본 연구에서는 수평면 전 일사량 예측을 위해 우리나라의 지역별 \bar{K}_T 와 C_N 을 유도하는 3차 선형방정식을 유도했다. 이 모델의 데이터를 토대로 Liu and Jordan의 모델과 ASHRAE Clear Sky 모델 이용해 일사량을 산출 하였고, 주요 대도시 별로 실측 데이터와 비교한 결과는 다음과 같다.

- (1) 각 권역별 \bar{K}_T 와 C_N 예측 모델의 신뢰도인 R^2 은 예측 모델과 사용된 데이터 간에 0.80-0.86으로, 양호한 값이라 판단된다.
- (2) 예측 모델을 통해 산출된 수평면 전일사량과 실측된 일사량 간의 비교는 기상월보와 비교한 서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 제주 등에서는 매우 유사하게 나타났다. 다만 표준기상데이터와 비교한 여수와 울산에서는 예측 모델을 이용한 수평면 전일사량이 다소 높게 나타났다.
- (3) MBE와 RMSE를 이용한 예측 결과의 신뢰도는 울산과 여수에서 다소 차이가 있지만, 전 지역에서 0에 근접한 값을 보였다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원

으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. 2009-0078035)

참 고 문 헌

1. 한국 에너지 기술수련연구원, 에너지 통계 연구, 2008.
2. 기상청, 기상월보, 2004~2008.
3. 태양에너지학회, 대한민국 표준 기상데이터, 2009.
4. 조덕기, 전일수, 이태규, 오정무, 경험적 예측 모형을 통한 임의의 지점 일사 예측, 태양에너지학회 논문집 V20. n.3, 2000.
5. 조덕기, 김은일, 이태규, 전일수, 전홍석, 오정무, 경험적인회기 모델에 의한 일사예측에 관한 연구, 태양에너지학회 논문집 V14. n2, 1994.
6. Liu, B. Y. H, and R. C. Jordan, The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Solar Radiation, Solar Energy, 1960.
7. ASHRAE Fundamentals Handbooks, 1985.
8. Erbs, D. G, S. A. Klein and J. A. Duffie, Estimation of the Diffuse Radiation Fraction for Hourly Daily and Monthly-Average Global Radiation, Solar Energy, 1982.
9. Duffie Jone A, Beckman William A, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons Inc, 1991.
10. 김영일, 김정민, 지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향, 대한 설비공학회 설비저널 v.37. n.12, 2008.
11. 조덕기, 국내 태양열시스템 설치를 위한 시스템 최적 설치가 산출을 통한 최대 경사면 일사량 분석, 한국 태양에너지 학회 논문집 v.29. n.2, 2009.
12. 유호천, 이관호, 강현구, 표준기상데이터의 일사량 데이터 비교 분석, 태양에너지학회 논문집, V29. n6, 2009.

표 4. 권역별 예측 모델 (K_T)

α_n	서울/경기	강원	충청	경상	전라	제주
1	-31374E-01	12319E00	3198E00	1110E00	13055E00	1781E00
2	-15270E-01	1427E-01	-1617E00	-21.657088	8844E-02	-2038E-02
3	18890E-02	-582E-02	7334E-02	6833E-03	-1712E-02	-2295E-01
4	-5.98E-04	-1657E-08	1154E-06	-1868E-07	-6118E-07	2296E-06
5	-4069E-01	-6307E00	1750731E-04	-4716E-01	-8411E00	-1012E-02
6	9117E-02	2802E-01	3235794E-05	1263E-01	-2654E00	-5551E-02
7	3.25E-05	-2427E-08	-9283E-08	1642E-08	-1616E-07	-5147E-07
8	5486E-01	2107E00	-1331E-01	-2619E-02	-1412E00	-1961E-02
9	-7665E-03	-8289E-02	396E-02	-3009E-04	1832E-02	-8909E-03
10	1337E-04	1054E-03	-4184E-05	9642E-06	9889E-05	7981E-05
11	2634E-01	9587E-02	1289E-01	-2828E-03	6192E-02	7261E-03
12	5725E-03	-2877E-02	8709E-04	-8792E-04	1568E-02	-3729E-03
13	6452E-05	2643E-04	1873E-05	1373E-05	-7489E-05	3493E-06
14	-6814E-02	-6088E-01	-4553E-02	-1727E-03	2149E-01	-2044E-02
15	-6161E-05	3529E-03	943E-04	-6437E-05	-5983E-04	-3158E-04
16	528E-05	-7331E-06	9138E-08	6032E-08	-2606E-06	2504E-06
17	-4071E-05	-5812E-05	-8193E-06	-9800E-06	-5266E-05	8198E-05
18	241E-05	3964E-06	-8406E-08	7362E-07	3779E-06	-6795E-06
19	1175E-02	6296E-03	6346E-03	8399E-03	3406E-04	-6550E-03
20	-1936E-04	-1037E-04	-104E-03	-1377E-04	-5999E-06	1089E-04
21	-34431447E-06	-6158E-03	4163613E-06	-1212E-03	-2092E-04	-2604E-02
22	4597E-04	8181E-05	-5584E-05	1700E-05	3229E-06	3924E-04
23	3146E-02	-1909E-03	2273E-02	-1311E-03	-1421E-03	8769E-03
24	-1241E-04	745E-05	-8955E-05	507E-05	5906E-06	-3490E-05
25	5116E-06	5822E-06	1748E-06	1937E-06	4982E-06	-6332E-06
26	-2974E-07	-3795E-07	-5529E-08	-1401E-07	-348E-06	5428E-07
27	-1601E-03	-8393E-04	-7953E-04	-1154E-03	1553E-05	5912E-04
28	2633E-05	1380E-13	1303E-05	1891E-05	-2618E-07	-9844E-06
29	1574E-03	4074E-04	-2929E-03	105E-03	1705E-05	2056E-04
30	-21E-03	-5404E-06	4022E-05	-1471E-06	-2721E-07	-3222E-06
31	-3064E-03	1702E-04	-1239E-04	1374E-04	2628E-04	3439E-03
32	1209E-05	-66460E-08	4838E-07	-5314E-07	-1038E-06	-1361E-05
33	-1488E-02	4095E-01	-9176E-03	2906E-02	5688E-01	-4125E-02
34	244E-03	-6714E-03	1502E-04	-4761E-04	-9324E-03	6770E-04
35	3233E-02	1259E-03	1525E-02	4679E-04	-7614E-04	1957E-04
36	-4317E-04	-1693E-05	-2097E-04	-6659E-06	1089E-05	-667E-06
37	4537E-04	6428E-04	-4939E-03	3132E-04	-3943E-03	9957E-03
38	-181E-05	-2519E-06	1952E-05	-1222E-06	1564E-05	-3879E-05
39	-2351E-03	-1819E-02	79979E-05	-8114E-03	1728E-01	-5664E-03
40	38535034E-09	2982E-04	-131E-04	133E-03	-2833E-03	928E-04
41	-2645E-03	-8001E-05	3358E-04	-3896E-05	5545E-05	-4574E-04
42	3533E-05	1079E-06	-4666E-07	5555E-07	-7918E-07	7127E-06
43	-91974993E09	-2258E-05	-797E-03	-2942E-05	2904E-04	2378E-03
44	3.642E-04	8859E-08	3138E-06	1144E-07	-1152E-06	-9472E-06
45	-13735734E-07	2949E-02	1976E-03	1583E-03	-9767E-03	5721E-03
46	1644E-05	-3987E-04	-5968E-05	-3205E-05	1285E-04	1707E-04
47	-211E-02	-8853E-03	2389E-04	-2374E-04	-224E-04	1075E-03
48	7.792E-03	3449E-05	-7767E-08	1689E-06	1487E-06	-9523E-06
49	1094E-04	-499E-03	-308E-04	-2612E-05	1701E-04	1554E-04
50	-1426E-06	6743E-06	9651E-07	5297E-07	-2248E-06	-6584E-06
51	-1086E-04	1514E-04	-2304E-06	8448E-06	5935E-06	5545E-06
52	4373E-07	-5896E-07	-5433E-09	-4561E-08	-469E-07	6504E-08
53	-2211E-03	5897E-03	-1599E-03	-2410E-04	-5933E-03	4294E-04
54	-108E-04	-8988E-06	1035E-05	377E-05	3468E-05	7196E-08
55	-5492E-06	1207E-12	-2446E-04	9019E-06	-1115E-04	-6612E-06
56	6976E-08	-6624E-07	2168E-08	-7663E-08	2767E-07	-2644E-08

표 5. 권역별 예측 모델 (C_N)

α_n	서울/경기	강원	충청	경상	전라	제주
1	-9248E00	4738E00	1683E00	75658E00	-77677E00	10894E00
2	-3170E00	6382E-01	-1004E00	2201E00	-5408E-02	-1535E00
3	3522E-01	-2142E-02	5419E-02	-19101E-02	-1155E-03	-6317E-02
4	-5261E-07	-1662E-06	214E-05	5994E-07	-832E-06	2684E-06
5	-2101E-01	1323E00	5522E-02	-5388E00	-30301E00	-2148E00
6	2551E-01	-140E00	6691E-03	-4089E00	-1561E00	14676E-02
7	-2592E-07	-4351E-07	-4391E-07	-2509E-07	-5367E-07	-1022E-06
8	1218E00	-7241E-01	-70082E-02	-1873E00	9330E00	20704E-02
9	-1078E-02	1642E-02	2019E-03	2776E-02	-4616E-01	-2505E-04
10	2274E-04	-1588E-04	-2592E-05	-4022E-04	65130E-04	1876E-04
11	5683E-01	2971E-02	8000E-02	9241E-02	-2151E-02	-1289E-01
12	1181E-02	-7039E-04	4613E-04	2513E-02	1417E-01	-4206E-03
13	-1397E-04	-6251E-05	126E-04	4294E-05	1454E-04	-3566E-06
14	-1364E-01	-1888E-02	-2186E-02	-7581E-01	2569E-01	-4453E-02
15	-1973E-05	-1575E-04	6798E-05	2386E-03	1462E-03	-2381E-04
16	1024E-05	3009E-06	-2139E-07	96795E-08	-4314E-05	2292E-06
17	-2589E-05	-6306E-05	159E-04	1841E-04	-6803E-05	9853E-05
18	1017E-06	3872E-06	-2495E-06	-1577E-06	4721E-06	-8062E-06
19	1453E-02	8495E-03	9927E-03	1017E-02	4809E-04	-9406E-03
20	-2395E-04	-1398E-04	-1627E-04	-1666E-04	-7866E-06	15647E-05
21	-2912E-02	-1144E-02	3717E-03	-1408E-03	1866E-03	8157E-02
22	3882E-04	1518E-04	-5026E-05	1966E-05	-2637E-05	-1226E-03
23	5517E-02	-8601E-03	1235E-02	-3620E-02	2203E-04	5125E-03
24	-2177E-04	3353E-05	-4865E-05	1405E-04	-8755E-07	-206E-04
25	3468E-07	6844E-06	-2731E-07	-4947E-07	6658E-06	-7656E-06
26	-1398E-07	-4048E-07	1634E-07	6749E-08	-4494E-07	6491E-07
27	-2001E-03	-1105E-03	-1254E-03	-1427E-03	-1154E-05	8296E-04
28	3292E-05	1817E-05	2055E-05	2336E-05	1706E-07	-1382E-05
29	7601E-04	7012E-04	-1817E-03	1237E-04	-173E-03	-9278E-03
30	-1009E-05	-9299E-06	2495E-05	-1724E-06	244E-05	13936E-05
31	-5304E-03	3898E-04	-3151E-05	3270E-03	6973E-05	3243E-03
32	2099E-05	-1519E-06	1204E-07	-1269E-05	-2762E-07	-1282E-05
33	-5187E-02	-1164E-01	-2332E-03	2836E-01	2003E00	1491E-01
34	8513E-04	1908E-03	3898E-05	-4648E-03	-3284E-02	-24417E-04
35	3918E-02	407E-02	8579468E-06	7135E-04	-1307E-03	-3834E-02
36	-523E-03	-5425E-05	-01181E-04	-101E-04	1832E-05	5714E-04
37	4209E-03	5848E-03	-2798E-03	1631E-02	-3447E-03	7933E-03
38	-1663E-05	-2282E-05	111E-04	-6335E-05	1367E-05	-3048E-05
39	-1091E-02	114E-01	1312E-03	2740E-01	1012E-01	-5857E-03
40	1788E-04	-1899E-04	-2155E-05	-4492E-03	-1658E-03	9688E-05
41	-3263E-03	-2876E-04	2463E-04	-548E-04	9656E-05	-572E-02
42	4357E-05	3834E-06	-3397E-06	778E-06	-1367E-06	8647E-05
43	-437E-03	-4426E-04	-4891E-04	-1.371E-03	263E-03	6116E-04
44	1726E-06	1726E-06	1922E-06	5329E-06	-1043E-06	-2506E-06
45	-7403E-03	5201E-03	1283E-03	-4028E-02	21715E-03	7817E-03
46	8839E-05	-7377E-05	-5121E-05	5537E-04	-3173E-04	2396E-04
47	-4945E-03	5706E-03	1033E-04	-2387E-03	4497E-02	-4954E-03
48	1894E-05	-2132E-05	-1619E-07	951E-05	-1758E-04	1047E-05
49	2375E-04	-6726E-05	1518E-05	6639E-04	-347E-03	-3443E-04
50	-2996E-06	9698E-07	3512E-07	-9123E-06	5074E-06	-7247E-07
51	-2628E-04	-5631E-05	-712E-05	3698E-04	-7273E-04	-4732E-05
52	1046E-06	2041E-07	2392E-08	-1441E-06	2841E-06	3385E-07
53	-415E-02	-7857E-04	-1009E-03	80716E-03	-4527E-02	-6972E-04
54	-224E-04	-1589E-05	6242E-06	-2159E-05	5049E-04	721E-05
55	-7205E-06	7231E-05	-1635E-05	2248E-04	-1221E-03	1543E-05
56	812E-07	-3356E-08	4369E-08	-1013E-06	1489E-07	-8885E-08