[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 29, No. 5, 2009
ISSN 1598-6411

일 최고, 최저 및 평균값을 이용한 시간단위 온도의 평가

이관호*

*울산과학대학 공간디자인학부(ghlee@mail.uc.ac.kr)

Evaluation of hourly temperature values using daily maximum, minimum and average values

Lee, Kwan-Ho*

*School of Space Design, Ulsan College(ghlee@mail.uc.ac.kr)

Abstract

Computer simulation of buildings and solar energy systems is being used increasingly in energy assessments and design.. Building designers often now predict the performance of buildings simulation programmes that require hourly weather data. However, not all weather stations provide hourly data. Climate prediction models such as HadCM3 also provide the daily average dry bulb temperature as well as the maximum and minimum. Hourly temperature values are available for building thermal simulations that accounts for future changes to climate. In order to make full use of these predicted future weather data in building simulation programmes, algorithms for downscaling daily values to hourly values are required. This paper describes a more accurate method for generating hourly temperature values in the South Korea that uses all three temperature parameters from climate model. All methods were evaluated for accuracy and stability in terms of coefficient of determination and cumulative error. They were compared with hourly data collected in Seoul and Ulsan, South Korea.

Keywords : 시간당 온도(hourly temperature), CIBSE guide(CIBSE 기준), 기후변화(Climate Change)

기 호 설 명

D	: 산출된 평균값과 T_{AVE} 간의 차이	T_{AVE}	: 평균온도 (℃)
R^2	: 결정계수	t_r	: 일출시각
T_{MAX}	: 최고온도 (℃)	t_s	: 일몰시각
T_{MIN}	: 최저온도 (℃)	$t_{\max}$	: 최고온도 시각
		$t_{\min}$	: 최저온도 시각
		t	: 시각

투고일자 : 2009년 9월 11일, 심사일자 : 2009년 9월 15일, 게재확정일자 : 2009년 10월 7일
교신저자 : 이관호(ghlee@mail.uc.ac.kr)

α : 최고온도시각과 일출일몰의중간시각과의 차

β : 최저온도시각과 일출시각과의 차

λ : 최고 및 최저온도의 평균값인 경우의 시각

1. 서 론

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPPC) 실무그룹(Working Group) Ⅲ의 4차 평가보고서[1]에 따르면 기후변화는 이미 전 세계에 진행 중이고, 기후변화의 부정적 영향을 경감하기 위한 저감방안의 실천이 요청된다고 하였다. 우리나라의 경우에도 지난 100년 동안 평균기온이 약 0.8℃ 정도 상승했다는 보고가 있었으며 특히 2000년대 이후의 그 상승 폭은 더욱 커지고 있다.

이러한 기후의 변화에 따라 인간들의 생활에는 더욱 많은 변화를 가져오게 된다. 농업분야에서는 재배 작물의 변화 및 수확량의 증감의 변화가 일어 날 것으로 보이며 건축물을 유지 관리하는 에너지 사용에 있어서도 마찬가지이다. 이와 같은 인간생활의 가장 기본적인 부분에서부터 기타 미세한 부분까지의 변화는 빠른 속도로 변화하고 있는 기후에 대처하기 위한 국제적인 협력 및 연구가 국내외에서 활발히 진행중이다. 국내에서도 건축물 에너지 성능평가 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램용 표준기상데이터에 대한 연구가 진행되고 있다. 시간당 데이터의 형식을 가지는 표준기상데이터의 연구를 위해서는 각 월별 최고온도 및 최저온도 시간의 기준이 필요하지만 현재 국내에서는 최고온도 및 최저온도가 발생하는 시각에 대한 기준은 명시되어 있지 않다. 또한 누락되거나 미래온도 예측에 필요한 시간당 온도의 산출방법이 요청된다.

따라서 본 연구에서는 대한민국 주요도시의 최고온도 및 최저온도의 발생시각을 산출하고, 일 최고, 최저 및 평균 기온을 이용하여 누락되거나 미래온도 예측에 필요한 시간당 온도를 산출하고 평가하고자 한다.

1) IPCC, (2007), Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

2. 최고 및 최저 온도 발생시각 산출

주요도시에 대한 최고 온도 및 최저 온도의 발생시각 산출을 위하여 선정한 지역 및 산출 방법은 다음과 같다.

2.1 대상 지역 선정

산출을 위한 대상지역은 서울을 포함하여 대전, 대구, 부산, 광주, 인천, 울산인 대한민국 7대 광역시를 대상으로 하였다.

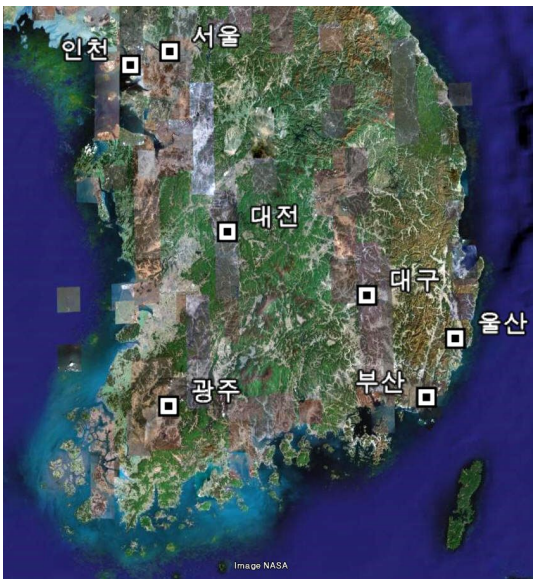


그림 1. 산출 대상 지역

최고온도 및 최저온도 발생 시각 산출을 위해 각 산출 대상 지역 기상청의 시간단위로 측정된 건구온도 데이터를 이용하였다. 1986년부터

2005년까지의 20년간 데이터를 표본으로 사용하였다. 1986년부터 1998년까지의 시간별 건구온도 데이터의 경우 매 시간(1일 24회)마다 측정 된 데이터가 아닌 3시간을 간격(1일 8회; 3시, 6시, 9시, 12시, 15시, 18시, 21시, 24시)으로 측정된 데이터 이므로 각 측정시점 사이의 값은 보간법을 이용하여 정리 후 사용 하였다.

2.2 최고 및 최저온도 발생시각 산출 방법

최고온도의 발생시각이 대부분 일출시각 t_r과 일몰시각 t_s 나타난다고 가정하면 최고온도의 발생시각 t_{max}는 다음의 식으로 나타 낼 수 있다.

$$t_{max} = \frac{t_r + t_s}{2} + \alpha \quad (1)$$

여기서 α는 최고온도가 발생하는 t_{max}시각과 일출과 일몰시점의 중간 시각의 차를 의미한다.

$$\alpha = t_{max} - \frac{t_r + t_s}{2} \quad (2)$$

최저온도의 발생시각은 일출시각 전에 일어난다고 가정하면 최저온도 발생시각 t_{min}는 다음과 같다.

$$t_{min} = t_r - \beta \quad (3)$$

β는 최저온도발생 시각과 일출시각의 차를 의미하며 α와β에 대하여 다음과 같이 정리 할 수 있다.[2)]

$$\frac{t_r - t_s}{2} + \beta < \alpha < \frac{t_s - t_r}{2} \quad (4)$$

2.3 최고 및 최저 온도 발생시각

영국 CIBSE[3)]에서 제시한 영국의 최고 온도 및 최저 온도의 발생시각과 앞서 제시한 방법을 이용하여 대상지역의 최고 온도 및 최저 온도 발생시각을 산출 한 결과는 표 1, 2와 같다.

산출방법에서 최고 온도의 발생시각은 일출시각과 일몰시각 사이에 발생 하는 것으로, 최저 온도의 발생시각은 일출 시간 이전에 발생 하는 것으로 가정하고 산출 하였다. 그러나 강우나 운량, 이상기온 등으로 인하여 최고 온도 및 최저 온도가 가정한 범위 를 벗어나서 예상치 못한 시각에서 발생 하였을 경우 이를 제외하고 산출 하였다.

표 1. CIBSE기준 최대 온도 발생 시각 및 대한민국 7대 광역도시 최대 온도 발생 시각

월	T_{MAX} times (t_{max})							
	영국[4)]	서울	인천	대전	대구	울산	부산	광주
1	14	15	15	15	15	15	15	15
2	14	15	15	15	15	15	14	14
3	14	15	15	15	15	14	14	15
4	15	15	15	15	15	14	14	15
5	15	15	15	15	15	14	14	15
6	16	15	15	15	15	14	14	15
7	15	15	15	15	15	14	14	15
8	15	15	15	15	15	14	14	15
9	15	15	15	15	15	14	14	15
10	14	15	15	15	15	14	14	15
11	14	15	15	15	15	14	14	15
12	14	15	15	15	15	15	15	15

표 2. CIBSE기준 최저 온도 발생 시각 및 대한민국 7대 광역도시 최저 온도 발생 시각

월	T_{MIN} times (t_{min})							
	영국[5)]	서울	인천	대전	대구	울산	부산	광주
1	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	5	6	6	6	5	6
3	5	6	6	6	6	6	5	6
4	5	6	6	6	6	5	5	6
5	4	6	5	6	6	5	5	5
6	4	5	5	5	5	5	5	5
7	4	5	5	5	5	5	5	5
8	5	6	5	6	6	5	5	5
9	5	6	6	6	6	5	5	6
10	6	6	6	6	6	6	5	6
11	6	6	6	6	6	6	5	6
12	7	6	6	6	6	6	6	6

2) Mien Wann et al. Evaluation and calibration of three models for daily cycle of air temperature, Agricultural and Forest Meteorology, 1985, 34:121-128.

3) CIBSE : Chartered Institution of Building Services Engineers 에서는 영국의 대표 최고 온도 및 최저 온도 시각을 제시하고 있다.

4) 영국의 CIBSE Guide A2에서 제시하고 있는 최대 온도 발생 시각으로 지역이 아닌 전체지역의 기준

5) 영국의 CIBSE Guide A2에서 제시하고 있는 최저 온도 발생 시각으로 지역이 아닌 전체지역의 기준

최고 온도 발생시각은 중부지방인 서울, 인천, 대전, 대구는 전 월이 15시로 산출 되었고 남부지방인 울산, 부산, 광주에서도 주로 15시로 산출되었으나 몇몇 달에서는 14시로 산출되었다.

최저 온도의 발생시각은 대상지역 전체적으로 5시 및 6시에 발생하는 것으로 산출 되었다. 산출방법에서 최저온도의 경우 일출 전에 발생 하는 것으로 예상 하였으므로 일출시각이 상대적으로 빠른 하절기에 5시가 많이 분포되어 있다.

3. 시간단위의 온도 산출방법

3.1 CIBSE 방법 (1982)

ASHRAE[6] 방법과 유사한 CIBSE[7] 방법은 단순하게 일 최고온도 (T_{MAX})와 최저온도 (T_{MIN})을 사용하였다. 시간당 온도($T(t)$)는 다음과 같이 산출한다.

$$T(t) = f_1 \cdot T_{MIN} + f_2 \cdot T_{MAX} \tag{5}$$

여기서, f_1과 f_2는 CIBSE기준의 표에서 주어지는 계수이고, T_{MIN}과 T_{MAX}는 일 최저기온 및 최고기온이다. 이것은 사인 보간법(sinusoidal interpolations)과 연관이 있으며, 수식 (5)~(8)로 표현된다.

$t < t_{\min}$경우,

$$f_1 = \frac{\cos\left[\frac{\pi(t_{\min} - t)}{24 + t_{\min} - t_{\max}}\right] + 1}{2} \tag{6}$$

$t_{\min} < t < t_{\max}$경우,

$$f_1 = \frac{\cos\left[\frac{\pi(t - t_{\min})}{t_{\max} - t_{\min}}\right] + 1}{2} \tag{7}$$

$t_{\max} < t$경우,

$$f_1 + f_2 = 1 \tag{8}$$

6) ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals. Chapter 26. p. 6

7) CIBSE Guide A2 Weather & Solar Data,1982

3.2 CIBSE 연결방법(CIBSE Linking day)

이상의 방법은 1일만을 산출하는 방법으로 연간 자료를 만들 경우, 각 일의 단순한 결합으로 전날의 마지막 값과 다음날의 처음 값에 구별이 생긴다. 따라서 개별적으로 합하기 보다는 사인곡선을 이용하여 전날의 최고온도와 다음날의 최저온도를 연결할 때 일 간의 완만한 보간을 할 수 있다. 이러한 공식은 다음과 같다.

$$T(t) = \left[\frac{Temp_{(nt)} + Temp_{(pr)}}{2}\right] + \left[\left(\frac{Temp_{(nt)} - Temp_{(pr)}}{2}\right) \times \cos\left(\frac{\pi(t - t_{(pr)})}{(t_{(nt)} - t_{(pr)})}\right)\right] \tag{9}$$

여기서, $T_{(nt)}$는 다음의 온도값 (T_{MAX} 또는 T_{MIN})이고, $T_{(pr)}$은 이전의 온도값 (T_{MAX} 또는 T_{MIN})이다. 또한 $t_{(nt)}$는 다음의 온도 값의 시각이고, $t_{(pr)}$는 이전의 온도값의 시각이다.

3.3 Q-Sine 방법

Q-Sine 방법은 T_{MAX}, T_{MIN} 및 T_{AVE}를 사용하기위해 만들었다. 정확한 평균값을 확인하기 위하여, T_{MAX}와 T_{MIN}사이에 한 점을 선택하고, 사분의 일 사인곡선을 이용하여 이 세점을 합치시킨다. 최초에 주어진 T_{AVE}값과 산출된 시간 자료의 일 평균값과 차이가 있으므로, 산출된 자료를 사분의 일 사인곡선을 이용하여 일치시킨다.[8] $t_{\min}$과 λ사이의 온도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T(t) = \left[\frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{2}\right] \times \left[\cos\left(\frac{(t - 2\lambda + t_{\min})\pi}{2(\lambda - t_{\min})}\right) + 1\right] \tag{10}$$

λ와 $t_{\max}$사이의 온도는 다음과 같이 구할 수 있다.

8) DHC Chow and Geoff J Levermore, New algorithm for generating hourly temperature values using daily maximum, minimum and average values from climate models, Building Serv. Eng. Res. Technol, 2007, 28:237-248.

$$T(t)=\left[\frac{T_{MAX}-T_{MIN}}{2}\right]\times\left[\cos\left(\frac{(t-t_{\max})\pi}{2(t_{\min}-\lambda)}\right)+1\right]+T_{MIN} \quad (11)$$

$$\therefore \lambda=\frac{t_{\min}+t_{\max}}{2}-\left[\frac{12D_2\pi}{T_{\max}-T_{\min}}\right]$$

여기서, D는 산출된 평균값과 T_{AVE} 간의 차이다. λ는 차이를 보간하는 위치함으로써 T_{MAX}, T_{MIN} 및 T_{AVE}을 이용하여 시간단위 온도를 산출할 수 있다. λ값이 $t_{\min}$과 $t_{\max}$ 사이의 시각을 벗어나는 경우도 있지만 매우 드물고 결과값의 영향이 크지 않다.

3.4 연결후 Q-Sine 방법

Q-Sine 방법도 전날의 마지막 값과 다음날의 처음 값에 구별이 생긴다. 따라서 사인 곡선을 이용하여 전 후일 간의 완만한 보간을 할 수 있고, CIBSE 연결방법과 동일한 공식을 사용하여 값을 산출한다. 그 다음에 Q-Sine 방법과 동일한 방법을 사용하여 최초에 주어진 T_{AVE}값과 산출된 시간 자료의 일 평균값과 차이를 일치 시킨다.

4. 시간단위 온도의 산출

매개변수 평가를 위하여 서울 기상대 자료(1986-2006)와 울산 기상대 자료(1986-2006)를 사용하였다. 다양한 모델의 정밀도를 시험하기 위하여 시간 단위의 측정값과 계산된 값을 비교하였다. 일치성을 평가하기위하여 결정계수(R^2) 및 누적 오차(cumulative error)를 이용하였다.

4.1 특정일의 평가

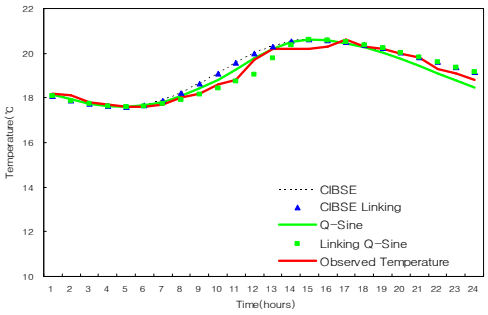
기상자료에는 관측기기의 고장에 따른 누락된 자료가 존재한다. 이러한 누락 기상자료를 위하여 특정일의 값을 예측하기 위한 모델의 평가가 요청된다. 따라서 그림 2와 같이 24시간동안 주간의 완만한 경향과 각 모델의 대부분의 가정이 일치하는 서울(2000년, 199일)과 울산(2000년 183일)의 7월의 가장 최적의 날을 선택하였다.

표 3. 서울과 울산의 측정 및 계산값의. 유사성

	결정계수(R^2)			
	CIBSE	CIBSE 연결	Q-Sine	연결후 Q-Sine
서울	0.93	0.96	0.96	0.96
울산	0.98	0.98	0.97	0.98

표 3은 서울과 울산의 각 모델에 대한 R^2값을 비교한 것이다. 서울의 경우 R^2은 CIBSE 방법이 0.93으로 가장 낮았고, CIBSE 연결방법이 0.96으로 가장 높은 나타냈으며, 울산의 경우도 Q-Sine 방법이 0.97으로 가장 낮았고, 연결후 Q-Sine 방법이 0.98로 가장 높은 값을 보였다. 그러나 모든 모델의 계산값이 측정값과 상당한 유사성을 보였기 때문에 누락 기상자료를 보완하기 위한 특정일의 값을 예측하는데 4가지 모델 모두 문제가 없을 것으로 사료된다.

(서울, 2000년 199일)



(울산, 2000년 183일)

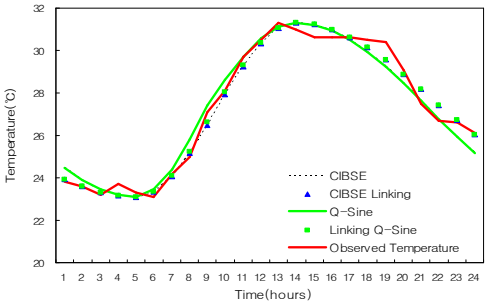


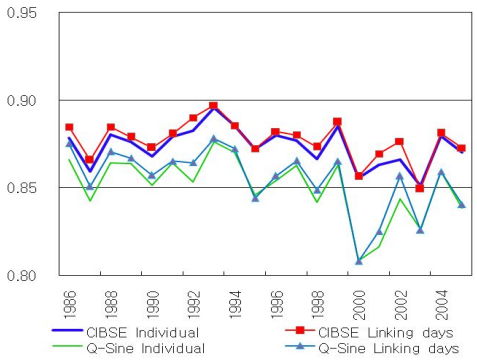
그림 2. 측정값과 계산값의 차이

4.2 20년간의 평가

본 연구는 서울과 울산의 20년의 실측치로부터 일 평균, 최고 및 최저값을 도출하였고, 결정계수(R^2) 및 누적 오차(cumulative error)를 이용하여 산출된 시간단위별 값들을 분석하였다.

서울과 부산의 20년간의 R^2의 변화는 그림 3과 같다. R^2은 CIBSE 방법이 Q-Sine 방법보다 높았지만 모두 0.8에서 0.85이상의 값을 보였다. 또한 연결방법과 단독방법과의 차이가 없는 것으로 나타났다. 서울과 부산의 20년간의 누적오차는 그림 4와 같다. 누적오차는 CIBSE 방법이 Q-Sine 방법보다 2배이상 높았고, 10%에서 25%의 차이를 보였다. 따라서 HadCM3와 같은 미래 기후예측모델의 경우는 CIBSE방법 보다는 Q-Sine 방법이 유리하다고 사료된다.

(서울, 1986-2006년)



(울산, 1987-2006년)

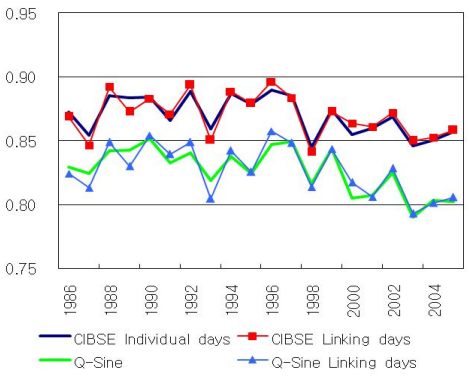
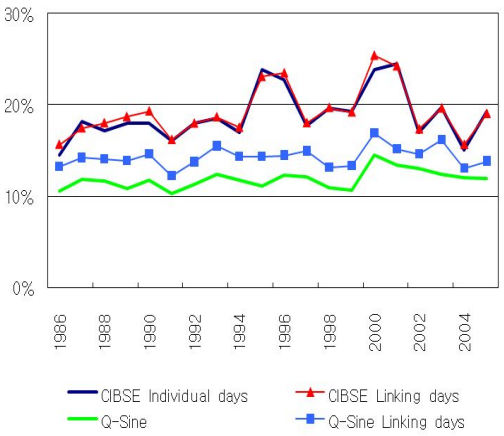


그림 3. 20년간의 결정계수(R^2)

(서울, 1986-2006년)



(울산, 1986-2006년)

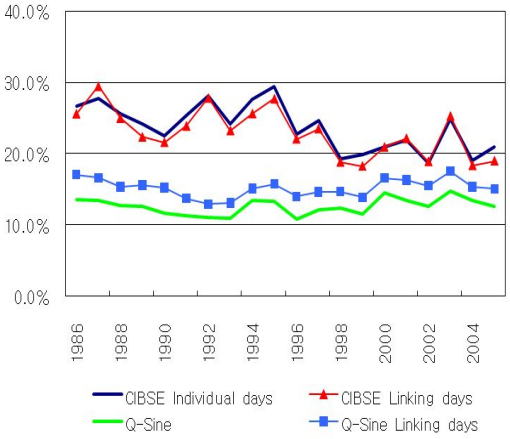


그림 4. 20년간의 누적오차

5. 결 론

본 연구에서는 주요도시의 최고온도 및 최저온도의 발생시각을 산출하였고, 최고, 최저 및 평균기온을 이용하여 누락되거나 미래온도 예측에 필요한 시간당 온도를 산출하고 평가하였다. 최고 온도 및 최저 온도 발생시각의 산출과 시간단위 온도 산출의 결과는 다음과 같다.

(1) 최고 온도가 일출과 일몰사이에 발생한다는 가정아래 산출한 결과 최고 온도는 주로 15시에 발생 하였고, 최저 온도는 5

시 및 6시에 주로 발생 하였으며 특히 일출 시각이 상대적으로 빠른 하절기에 5시에 많이 발생 하였다.

(2) 본 연구에서 산출한 최고 온도 및 최저 온도 발생시각에 대한 결과는 국내에서 아직 기준이 제시되어있지 않은 기초적인 데이터로서 표준 기상 데이터 작성 및 다양한 분야에서 유용하게 이용 할 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 서울과 울산의 각 모델에 대한 계산값이 측정값과 상당한 유사성을 보였기 때문에 누락 기상자료를 보완하기 위한 특정 일의 값을 예측하는데 4가지 모델 모두 문제가 없을 것으로 사료된다.

(4) 20년간의 결정계수(R^2) 및 누적오차 분석 결과, HadCM3와 같은 미래 기후예측모델의 경우는 CIBSE방법 보다는 Q-Sine 방법이 유리할 것이다.

후 기

이 논문 또는 저서는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0067807)

참 고 문 헌

1. 노경환외, 대한민국 주요도시의 최고온도 및 최저온도 발생시각 산출, 태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2008, pp. 63-68
2. ASHRAE Handbook 2001 Fundament als. Chapter 26. p. 6
3. CIBSE Guide A2 Weather & Solar Data, 1982.
4. D.C. Reicosky et al. Accuracy of hourly air temperatures calculated from daily minima and maxima, Agricultural and Forest Meteorology, 1989, 46:193-209.
5. DHC Chow and Geoff J Levermore, New algorithm for generating hourly temperature values using daily maximum, minimum and average values from climate models, Building Serv. Eng. Res. Technol, 2007, 28:237-248
6. Kwanho Lee et al. Generating hourly temperature values for future change to climate, SET2008, 2008
7. Mien Wann et al. Evaluation and calibration of three models for daily cycle of air temperature, Agricultural and Forest Meteorology, 1985, 34:121-128.