

오산시의 맑은날 하절기 등가 하늘온도 예측

변기홍*

*동국대학교 기계로봇에너지공학과(khbyun@dongguk.edu)

Prediction of the Summer Effective Sky Temperature during the Clear Day on Osan City

Byun, Ki-Hong*

*Dept. of Mechanical Robotics and Energy Engineering(khbyun@dongguk.edu)

Abstract

The purpose of this study is to predict the effective sky temperature on Osan City during the summer. The north latitude, east longitude of Osan City is $37^{\circ}06'$ and $127^{\circ}02'$. The altitude from the sea level is 48m. Empirical relations of the effective sky temperature suggested by Duffie and Beckman¹⁾ are compared on clear days. For the effective sky temperature prediction, data measured by the Korea Meteorological Administration is used as an input to the Bliss⁶⁾ model. Both Hottel and Krondratyev model are used to calculate the water vapor emissivity. The results using Hottel's model match well with the empirical relation proposed by Bliss. The results show maximum, minimum, and average values depending on water vapor emissivity model. The maximum deviation is about 10 K and is due to total emissivity model.

Keywords : 등가하늘온도(The Effective Sky Temperature), 맑은날(Clear), 여름(Summer), 오산(Osan), 전방사율(Total Emissivity)

기 호 설 명

G	: sky irradiation W/m^2	하침자
p	: pressure	a : 공기
T	: 온도 ($^{\circ}C$, K)	dp : 이슬점
$\epsilon_{\lambda}, \epsilon$: 면의 파장당방사율, 전(total) 방사율	sky : 하늘
ρ	: 밀도, g/m^3	w : 수증기
σ	: Stefan Boltzmann 상수	

투고일자 : 2010년 9월 1일, 심사일자 : 2010년 9월 14일, 게재확정일자 : 2010년 10월 25일
교신저자 : 변기홍(khbyun@dongguk.edu)

1. 서 론

하늘과의 복사열전달을 계산하기 위해서는 하늘로부터의 입사량 또는 등가 하늘 온도(The Effective Sky Temperature)¹⁾를 알아야 한다. 예를 들어 이 온도를 사용하면, 태양열 집열판의 하늘에 대한 열손실¹⁾을 예측하거나 복사냉각²⁻⁴⁾의 크기를 간단하게 산정할 수 있다. Duffie¹⁾ 등은 Swinbank⁵⁾와 Bliss⁶⁾의 식을 추천했다. 이 두식은 구름이 없는 맑은날에 대한 식이다. Bliss⁶⁾는 맑은 하늘에 대한 등가하늘 온도를 산정하는 과정을 제안했으며, 이를 미국의 표준대기 조건에서 계산해서 경험식을 추천했다. Duffie¹⁾는 실제 측정값이 없으면 두 식 중 어느 식이 적절한지 여부를 결정하기 어려우나, 상대습도가 25% 이하이고 맑은 날인 조건에서 Swinbank⁵⁾와 Bliss⁶⁾의 식을 적용한 결과는 같다고 발표했다. Atwater⁷⁾ 등은 Swinbank⁵⁾와 Bliss⁶⁾의 식이 계절과 지역에 따라서 적절한 곳도 있겠지만, 대부분 오차가 크므로 미국 여러 지역에 대해 하늘온도와 표면온도와의 차이를 계산해서 예측한 지도를 작성해서 발표했다. 이 연구의 목적은 기상청의 측정데이터를 사용해서 오산지역의 여름철 맑은날에 대한 등가하늘 온도를 예측해서 기 발표된 식들의 타당성을 검증하는데 있다.

2. 해석 모델

등가하늘온도에 영향을 미치는 주요변수는 운량, 습도, 표면온도와 지리적 위치등의 함수이다.⁷⁾

2.1 등가하늘 온도 식

Duffie¹⁾ 등이 추천한 두개의 식은 모두 맑은 날에 대한 식이다. Swinbank⁵⁾의 식은,

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5} \quad (1)$$

이다. T_{sky} , T_a 는 각각 등가하늘온도, 지표의 대기온도이다. 미국의 표준 대기조건을 사용해서 Bliss⁶⁾가 추천한 식은 다음과 같다.

$$T_{sky} = T_a \left(0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right)^{0.25} \quad (2)$$

T_{dp} 는 이슬점온도이다. Duffie¹⁾는 이 두식 모두 구름과 지표면에 대한 집열판의 경사각의 영향을 고려하고 있지 않으나, 이의 영향이 태양열 집열판의 성능을 예측하는데 큰 영향을 미치지 않는다고 발표했다. Atwater⁷⁾ 등은 등가하늘온도가 운량, 습도, 표면온도와 지리적 위치 등의 함수이므로 계절과 지역에 따라 대부분 오차가 크다고 주장했다. 특히 식(3)의 경우, 겨울철에 표면온도가 0°C 이하가 되면 약 25°C 이상의 온도차이가 관찰되기도 한다. 미국의 지역에 따라 예측한 온도를 식(4)의 형태로 표현했으며 상수값은 5~20°C 정도의 분포를 가진다.

$$T_{sky} = T_a - 6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$T_{sky} = T_a - \text{constant } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

2.2 측정자료이용 등가하늘 온도 산정과정

대기층의 고도에 따른 기온, 기압, 이슬점, 풍향, 풍속에 관한 측정 자료를 기상청에서 자료⁸⁾로 발간하고 있다. 이 논문에서 등가하늘온도 계산은 Bliss⁶⁾ 및 Atwater⁷⁾에 의해서 발표된 과정을 적용하기로 하며, 사용된 가정은 다음과 같다.

1. 맑은 날이다.
2. 대기 중 수증기와 이산화탄소의 영향만 고려한다.
3. 하늘은 흑체라고 가정한다.
4. 대기층을 다수의 서로 평행한 무한평판층으로 가정했으며, 각 층의 물성치는

균일하다.

5. Troposphere 영역만 고려한다.
6. 하절기 오산지역만 고려한다.

측정 자료로부터 대기권의 수증기의 양을 산정하는 과정은 다음과 같다. 등가하늘온도는 식(5)로 정의된다.

$$T_{sky} = - \left(\frac{G}{\sigma} \right)^{1/4} \quad (5)$$

G, σ 는 각각 하늘로 부터 지표에 놓인 면으로 입사하는 복사량과, 스테판 볼츠만 상수이다.

하늘로부터의 입사량 계산을 위해, 대기층을 다수의 서로 평행한 무한평판 층으로 가정하고 각층의 물성치가 균일하다고 가정한다. T, ϵ, n 은 각각 층의 온도, 층의 전방사율, 층의 개수이다. 각층의 전방사율 계산시 Bliss의 스케일링 방법⁶⁾을 사용하면 하늘로부터의 입사량은 다음과 같이 표현된다.

$$G = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \sigma T_i^4 \quad (6)$$

따라서, 수증기의 전방사율과 각 층의 온도를 알면, 식(6)에서 계산된 입사량을 식(5)에 대입해서 등가하늘 온도를 구할 수 있다.

대기층의 수증기에 의한 대기의 전방사율은 파장당 방사율과 온도의 함수이다. 파장당 방사율은 광학두께의 함수이다. 수증기의 광학적 두께는 수증기층의 두께에 흡수계수를 곱한 식 또는 단위면적당 수증기 양(precipitable water)에 수증기양당 흡수계수를 곱한 식으로 표현된다. 단위면적당 수증기양 X 의 단위는 $[g/cm^2] = [pr - cm]$ 이다.

$$dX = - \left(\frac{m_w}{m_a} \right) \rho_a dz \quad (7)$$

식(7)에서 m_a, m_w, ρ_a, z 는 각각 대기의 질량, 수증기의 질량, 대기의 밀도, 고도이며, 고도가 증가할수록 X 값이 감소하므로 마이너스 부호가 앞에 도입되었다.

대기 및 수증기를 이상기체로 가정하면

$$\left(\frac{m_w}{m_a} \right) = \left(\frac{p_w}{p_t} \right) \left(\frac{R_a}{R_w} \right) \cong 0.622 \left(\frac{p_w}{p_t} \right) \quad (8)$$

$$\rho_a = \left(\frac{p_a}{R_a T_a} \right) \quad (9)$$

$$p_w = p_w(T_{dp}), \quad p_{w, sat} = p_w(T) \quad (10)$$

이다. 식 (10)의 관계식은 수증기표⁹⁾를 사용했다.

수증기의 전방사율은 Bliss⁶⁾가 사용한 두 가지 방법을 사용해서 구해졌다. $5\mu m \sim 35\mu m$ 구간에대한 Krondratyev의 경험식⁶⁾과 Hottel의 층방사율(Slab Band Emissivity) 값이 사용되어 서로 비교되었다. Bliss⁶⁾가 제안한 경험식 (2)는 미국의 표준대기 조건에서 Hottel의 층방사율을 사용해서 구한 것이다.

이산화탄소에 대한 전방사율은 Bliss⁶⁾가 사용한 모델을 사용해서 계산했으며, $13\mu m \sim 17\mu m$ 밴드만 고려했다.

$$\epsilon_c = 0.185(1 - e^{-\gamma X_c}) \quad (11)$$

상수 $\gamma=50 [cm^2/g]$ 이며, 대기중 이산화탄소의 양은 $X_c [g/cm^2]$ 이다. 대기의 수증기와 이산화탄소만 모델링 되었으며, 두 밴드 중첩에 의한 영향은 고려되었다.

2.3 분포식을 이용한 등가하늘 온도 산정과정

Bliss⁶⁾는 미국의 표준대기 분포식을 이용해서 하늘온도를 산정하는 과정을 제안했다.

$$p = p_0 e^{-\gamma Z}, \quad Z \leq 4km \quad (12)$$

Z는 고도이며, $\gamma = 1.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$ 를 사용하는 경우 단위는 cm 이다. p, p_0 는 $Z = Z$ 와 $Z = 0$ 에서의 대기압력이다.

고도변화에 따른 온도는, 고도 $Z' [km]$ 에서

$$T_z = T_0 - 6.0Z' \quad (13)$$

이다. 또한 수증기 분포 량을 구하기 위해 수증기 밀도를 다음과 같이 가정했다.

$$\rho_w = \rho_{w-0} e^{-\beta Z} \quad (14)$$

Z는 고도이며, $\beta = 4.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$ 를 사용하는 경우 단위는 cm 이다. ρ_w, ρ_{w0} 는 $Z = Z$ 와 $Z = 0$ 에서의 수증기 밀도이다.

이와 같은 분포를 사용해서 지표와 고도 Z 사이에 분포하는 대기중 수증기의 양을 표현하면 식(15)와 같다.

$$X = \int_{Z=0}^{Z=Z} \rho_w dZ = \frac{\rho_{w0}}{\beta} [1 - e^{-\beta Z}] \quad (15)$$

한 개의 평판층사이의 수증기의 양은 식 (16)으로 표현된다.

$$\Delta X = X(Z_{i+1}) - X(Z_i) \quad (16)$$

수증기의 전방사율을 구하는 과정은 2.2절에서 기술한 것과 동일하다.

3. 결과 및 고찰

제2장에서 기술한 계산과정을 적용한 곳은 고층에 대한 기상청의 측정 데이터가 있는 오산 지역(북위 37°06', 동경 127°02', 해발고도 48m) 이다. 그러나 전운량 최저운고 등에 대

한 측정 데이터가 없어서, 이 두가지 데이터는 수원 지역(북위 37°16, 동경 126°59', 해발고도 33.6m) 에 대한 기상청의 데이터를 사용했으며, 데이터가 표 1에 요약되어 있다. 이 논문에서 제시된 방법이 타당한 경우는 오전 8시의 경우 8월10일 11일과 24일 25일 이며, 오후 8시의 경우 8월7일, 9일, 10일 과 24일이다.

표1. (a) 오산지역 오전 8시 기상 요약

2004년 월/일	기온 (°C)	습도 (%)	이슬점 (°C)	중하층 운량		최저운고 (km)	
				6	9	6시	9시
8/8	26.2	94.2	25.2	7	6	1.2	1.2
8/9	26.4	92.6	25.1	5	2	1.0	1.0
8/10	25.2	97.6	24.8	0	0	-	-
8/11	25.8	87.7	23.6	0	0	-	-
8/24	20.6	84.5	17.9	6	0	1.2	0
8/25	20.6	99.4	20.5	2	3	1.0	3.3
8/26	21.0	99.4	20.9	7	7	0.8	0.8

(b) 오산지역 오후 8시 기상 요약

2004년 월/일	기온 (°C)	습도 (%)	이슬점 (°C)	중하층 운량		최저운고 (km)	
				6	9	6시	9시
8/7	29.0	76.3	24.4	1	1	1.0	1.2
8/8	28.4	81.8	25.0	4	8	1.2	1.0
8/9	29.2	76.8	24.7	2	0	1.0	-
8/10	30.2	74.7	25.2	1	0	1.2	-
8/23	22.8	85.3	20.2	7	7	1.0	1.2
8/24	26.4	75.4	21.7	3	0	1.0	-
8/25	24.6	87.6	22.4	6	5	1.0	1.2

3.1 표준대기 분포곡선과 측정결과 비교

그림 1에는 고도의 따른 대기압의 변화가 제시되어 있다. 오산지역에 대한 측정 자료가 미국표준대기 압력 분포곡선인 식 (12)와 잘 일치하고 있다. 오전8시 및 오후 8시 모두 잘 일치하므로 오전 8시 결과만 발표한다.

그림 2에는 고도의 따른 대기온도의 변화가 제시되어 있다. 미국 표준 대기의 경우 고도증가당 기온하강율은 $6^\circ\text{C}/\text{km}$ 또는 $6.5^\circ\text{C}/\text{km}$ 이다. 오산의 경우 고도 약 5km 이내에서, 오전 8시 데이터는 하강율 $5^\circ\text{C}/\text{km}$ 로, 오후 8시 데이터 (발표생략)에서는 하강율 $6^\circ\text{C}/\text{km}$ 로

식 (13)을 수정한 식이 측정 데이터와 더 잘 일치하고 있다.

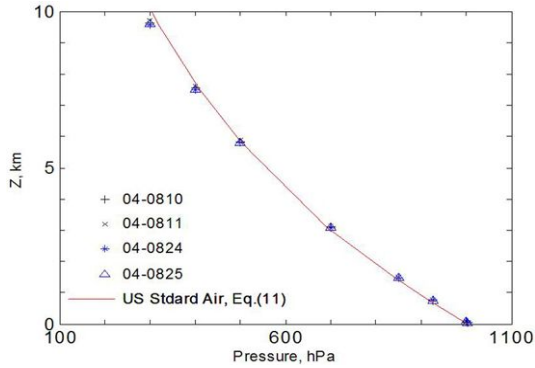


그림 1. Pressure distribution comparison with US standard air with altitude variation (8am)

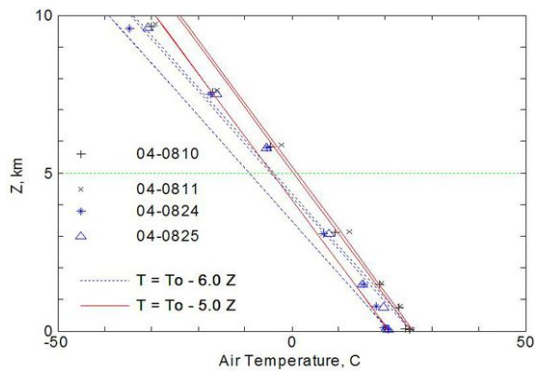
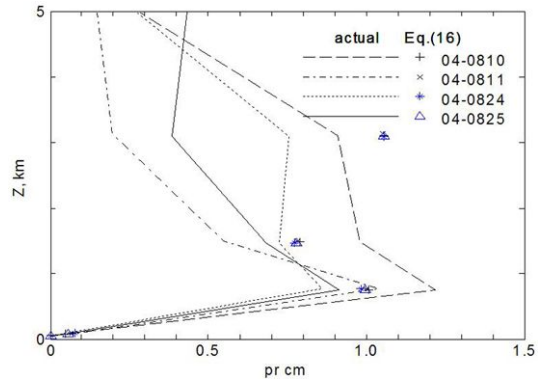


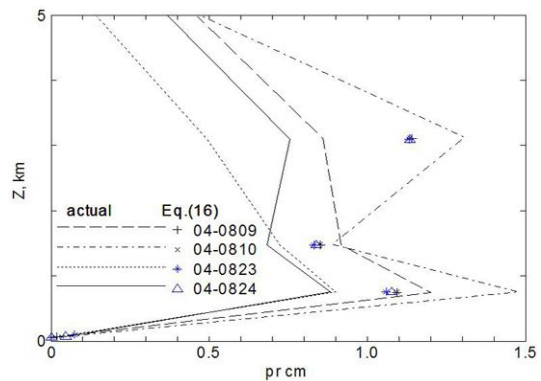
그림 2. Temperature distribution comparison with US standard air with altitude variation (8am)

3.2 대기중 수증기 및 이산화탄소 양

제 2장에 기술된 방법과 기상청의 자료⁸⁾를 사용해서 대기 중의 수증기의 양을 예측한 결과가 그림 3에 선들로 그려져 있다. 분포곡선과 식(16)을 사용해서 예측한 수증기의 양들은 기호로 표시되어 있다. 분포곡선을 사용해서 예측한 결과들은 지면근처 수증기밀도만의 함수이므로 4일간의 데이터가 거의 일치한다. 지상 5km 이후 수증기가 지면 입사량에 미치는 영향은 작다. 대체로 첫 번째부터 네 번째 층의 대기중에 있는 수증기량에 의해서 지면 입사량이 결정되며, 각층의 고도는 일자에



(a) 8 am



(b) 8 pm

그림 3. Comparison of water vapor in atmosphere

따라 다르나 대략 74m, 0.75km, 1.48km, 3.1km 정도이다. 그림 3에서 약 1.48km 까지 고려하면 오전8시의 경우 8월24일, 25일, 11일, 10일 순서로 작으며, 오후 8시의 경우 24일, 23일, 9일, 10일의 순서로 작다. 미국표준대기 분포식 (12)-(14)를 사용해서 구한 수증기 값은 날짜별 실제 측정값을 사용해서 계산한 수증기 값들의 평균정도이다. 따라서, 분포식들과 지표에서의 기상조건을 사용해서 맑은날 오산에대한 등가하늘온도 개략값을 얻을 수 있으리라 추정된다.

3.3 대기의 전방사율 및 하늘 온도 예측

그림 3에 제시된 수증기 분포와 제2장에서 기술된 방법을 사용해서 구한 오산에서의 전

방사율, 지표면 입사량, 등가 하늘온도 예측 값이 표 2에 요약되어 있다. 또한 표 2에 지표근방 대기온도가 제시되어 있다. 고도에 따른 대기중 이산화탄소 농도분포에 대한 측정 데이터가 가용하지 않았으며, 결과 비교를 위해서, 이산화탄소의 양은 300ppm으로 균일하게 분포되어 있다고 가정했다⁶⁾. 방법1의 경우 오산에서의 고층기상데이터를 사용해서 수증기의 양을 계산했으며 수증기의 흡수계수는 Krondratyev의 경험식⁶⁾을 사용해서, 이산화탄소에 대한 상수들은 Bliss의 상수⁶⁾들을 사용해서 계산했다. 방법2에서는 수증기와 이산화탄소의 방사율 계산에 Hottel의 층방사율 차트(293K, 1기압, 이산화탄소/수증기 밀도비 0.1)를 이용한 점만이 방법1과 다르다. 물론 대기 압력변화가 방사율에 미치는 영향은 별도로 고려되었다. 실제밀도비가 방사율에 미치는 영향이 작으나, 밀도비 분포가 있으므로 차트 값들은 근사값이다. 방법3의 경우 실측결과가 아닌 미국의 표준대기분포식들을 사용한 점만이 방법1과 다르다. 방법1과 방법3에 의한 결과가 잘 일치한다(Group 1). 따라서, 지표면에서 측정된 기상데이터와 미국 표준대기분포식에 온도하강곡선을 수정해서 사용하는 계산방식도 유효하다 생각된다. 방법2에 의한 결과와 식(2)의 결과가 잘 일치한다(Group 2). 따라서, 이 논문의 계산과정이 Bliss의 계산 과정과 잘 일치하고 있다. (Group 3)은 식(1)에 의한 결과이다. 그림 2와 도표 2의 결과를 보면, 지표 근방의 온도가 낮을수록 또한 지표 근방 수증기의 양이 적을수록 등가하늘 온도가 낮은 경향을 보이고 있다.

(Group 1)이 가장 낮은 온도를 (Group 2)가 가장 높은 온도를 예측하고 있으며, 두 그룹간 최대 온도차는 약 10K 정도이다. (Group 3)인 식(1)로 계산한 값은 최대와 최소의 중간값 정도이다. 식(1)에서는 지표근방 대기의 온도와 습도만이 고려되었다. 동일 수증기 농도에 대한 Krondratyev 모델의 전방사율 값은 Hottel 모델에 의한 값 보다

표 2. 오산의 등가하늘온도(K) 예측값 요약
Method I: Krondratyev empirical relation⁶⁾
Method II: Hottel slab band emissivity chart⁶⁾
Method III: US standard air distribution⁶⁾

(a) 8 am Osan

MM/DD	Method I			Method II		
	ϵ	G	T_{sky}	ϵ	G	T_{sky}
8/8	0.769	349.6	280.2	0.887	403.2	290.4
8/9	0.780	355.5	281.4	0.897	408.5	291.3
8/10	0.777	348.3	280.0	0.893	400.2	289.9
8/11	0.740	334.6	277.2	0.868	392.5	288.4
8/24	0.751	316.2	273.3	0.874	368.4	283.9
8/25	0.749	315.4	273.1	0.874	368.3	283.9
8/26	0.771	326.6	275.5	0.890	377.1	285.6

MM/DD	Method III			Eq.(1)	Eq.(2)	ground
	ϵ	G	T_{sky}	T_{sky}	T_{sky}	T_{air}
8/8	0.782	355.1	281.3	285.7	291.8	299.2
8/9	0.781	355.9	281.5	286.0	292.1	299.4
8/10	0.779	349.4	280.2	284.3	290.5	298.2
8/11	0.773	349.6	280.2	285.1	291.3	298.8
8/24	0.745	313.7	272.7	277.7	284.6	293.6
8/25	0.757	319.0	273.9	277.7	284.6	293.6
8/26	0.759	321.6	274.4	278.3	285.1	294.0

(a) 8 pm Osan

MM/DD	Method I			Method II		
	ϵ	G	T_{sky}	ϵ	G	T_{sky}
8/7	0.772	364.1	283.1	0.889	419.3	293.2
8/8	0.786	367.6	283.8	0.901	421.5	293.6
8/9	0.776	367.1	283.7	0.893	422.2	293.8
8/10	0.790	378.7	285.9	0.901	431.8	295.4
8/23	0.747	324.3	275.0	0.872	378.5	285.8
8/24	0.755	343.9	279.1	0.878	399.9	289.8
8/25	0.768	341.7	278.6	0.888	394.9	288.9

MM/DD	Method III			Eq.(1)	Eq.(2)	ground
	ϵ	G	T_{sky}	T_{sky}	T_{sky}	T_{air}
8/7	0.777	366.3	283.5	289.7	295.4	299.2
8/8	0.780	364.7	283.2	288.8	294.7	299.4
8/9	0.778	368.0	283.8	290.0	295.7	298.2
8/10	0.781	374.2	285.0	291.4	297.0	298.8
8/23	0.755	327.7	275.7	280.8	287.4	293.6
8/24	0.763	347.5	279.8	286.0	292.1	293.6
8/25	0.766	340.5	278.4	283.4	289.7	294.0

약 0.1 정도 작다. 예측 오차를 줄이려면 수증기에 대한 전 방사율 모델을 개선할 필요가 있다. 도표 1에 제시된 일자에 대한 오산(북위 37°06', 동경 127°02', 해발고도 48m)의 기상조건과 서울(북위 37°34', 동경 126°58', 해발고도 86m)에서의 조건이 유사하다. 따라서 오산의 등가하늘 온도는 대기오염이 없는 맑은 날에 대한 서울의 등가하늘 온도에 대한 근사 값이라 볼 수 있다.

4. 결 론

기상청의 측정데이터와 Bliss 가 사용한 방법을 적용해서 오산에서의 여름철 맑은 날에 대한 등가하늘 온도를 구했으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Bliss의 계산 과정에 오산에 대한 실제 고층기상 데이터를 적용해서 구한 등가하늘온도는 Bliss가 제안한 경험식을 사용해서 구한 결과와 일치하고 있다.
- (2) 동일한 계산과정과 동일한 기상 자료를 사용하더라도, 대기 중 수증기의 전방사율을 예측하는 모델이 다르면, 오산의 등가하늘온도 예측에 최대 10K 정도 차이가 생겼다. 등가 하늘온도 최대값은 Hottel의 증방사율을 사용한 경우에, 최소값은 Kondratyev 에 의한 방사율 모델을 사용한 경우에 얻어졌다. 이 두 값의 중간 정도의 값이 Swinbank 의 식(1)로 계산한 값이다. 따라서, 식(1)을 사용하면 각각 오차범위가 5K 이내가 되리라 예상된다.
- (3) Bliss의 계산과정은 등가 하늘 온도를 간단하게 예측하는데 유용하다. 대기 중 수증기의 방사율을 예측하는 모델을 개선해서, 예측의 정확성을 높일 수 있다.
- (4) 고층 기상 데이터가 없지만 지표근방에서의 측정값이 있는 경우, Bliss의 계산과정과 미국의 표준대기 분포 식을 그대로 사용하거나, 고도증가당 기온하강율을 수정한 분포 식을 사용해서 하늘의 온도를 예측할 수 있다.

후 기

이 논문은 2009년도 동국대학교 연구년 지원에 의해서 이루어 졌으며, 저자는 동국대학교와 The U. of Iowa의 지원 대해서 감사드린다.

참 고 문 헌

1. Duffie, J. A., Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley Interscience Publication, 1980, New York.
2. 변기홍, 야간 하늘에 노출된 평판의 복사냉각 실험, 설비공학 논문집, 제17권, 제 6호, pp. 605-610, 2005.
3. 변기홍, 주간 하늘에 노출된 평판에 의한 복사냉각 실험, 한국태양에너지학회 논문집, 제27권, 제 4호, pp. 11-17, 2007.
4. A. Chebihi, K.H. Byun, J. Wen, T.F. Smith, Radiation Cooling of an Enclosure, Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 229-252, 2006.
5. Swinbank, W. C., "Long-Wave Radiation From Clear Skies," Quarterly J. of the Royal Meteorological Society, Vol. 89, 1963.
6. Bliss, R. W., "Atmospheric Radiation Near the Surface of the Ground: A Summary for Engineers," Solar Energy, Vol. 5, No. 3, pp 103-120, 1961.
7. Atwater, M. A., Ball, J. T., "Computation of IR Sky Temperature and Comparison with Surface Temperature," Solar Energy, Vol. 21, pp. 211-216, 1978.
8. 고층기상월보, 8월 및 9월, 기상청, 2004.
9. Kuehn, T.H., Ramsey, J.W., and Threlkels, J. L., Thermal Environmental Engineering, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1998.