

부산지역 토지이용 (land-use) 변화에 의한 열환경 수치모의 A Numerical Simulation for Thermal Environments by the Modification of Land-use in Busan

김유근* · 문윤섭 · 오인보 · 임윤규

부산대학교 대기과학과

(2002년 5월 10일 접수, 2002년 10월 4일 채택)

Yoo-Keun Kim*, Yun-Seob Moon, In-Bo Oh and Yun-Kyu Lim

Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

(Received 10 May 2002, accepted 4 October 2002)

Abstract

Prognostic meteorological model, MM5V3 (Mesoscale Model 5 Version 3) was used to assess the effects of the land-use modifications on spatial variations of temperature and wind fields in Busan during the selected period of summer season in 2000. We first examined sensitivity analysis for temperature between MM5V3 predictions and meteorological data observed at 4 AWS (Automatic Weather System) stations in Busan, which exhibited low structural and accurate errors (Mean Bias Error, MBE: 0.73, Root Mean Square Error, RMSE: 1.18 on maximum). The second part of this paper, MM5V3 simulations for the modification of land-use was performed with 1 km resolution in target domain, $46 \times 46 \text{ km}^2$ area around city of Busan. It was found that modification result from change of surface land-use in central urban area altered spatial distributions of temperature and wind. In particular, heat island core moved slightly to the seaward at 1300 LST. This results may imply that modification of surface land-use leads to change the thermal environments; in addition, it has a significant effect on local wind circulations and dispersions of air pollutants.

Key words : MM5V3, land-use, modifications, temperature, wind fields, urban climate

1. 서 론

일반적으로 도시지역 지표면 상태변화는 열수지 및 물수지에 영향을 주어 열환경 중심의 도시기후를 변화시키게 된다(Pielke *et al.*, 1991; Oke, 1987). 최근 Shashua-Bar and Hoffman (2000)의 연구에서

는 도시지역에서 숲의 역할이 기온변동에 미치는 영향을 분석하였는데, 그 결과 숲이 있는 지역이 없는 지역보다 0.5°C 정도 낮게 나타나 토지이용 (land-use)이 도시기온변동에 중요한 인자임을 제시하였다. 우리나라에서는 이현영(1995)이 서울지역 토지이용이 변화함에 따라 도시가 점차 건조화·온난화 추세를 보여 도시지역 열환경이 변하고 있음을 밝혔다. 이러한 도시지역 토지이용 변화에 따른 도시 열환경 변화를 보다 세밀하게 파악하기 위해 국지

* Corresponding author

Tel : +82-(0)51-510-2282, E-mail : kimyk@pusan.ac.kr

규모의 수치모델링을 이용하여 접근하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히, Ichinose and Shimodono (1997)는 도시의 열적 환경을 결정짓는 지표면의 피복상태를 10개의 토지이용분류를 통하여 열전도율, 반사율, 증발효율, 토양의 밀도, 토양의 비열 등의 지표면 물성치를 세분화하였고, Kimura and Takahashi (1991) 역시 다양한 토지이용에 따른 지표면 물리변수를 통하여 실제적인 지표면 열수지 방정식을 완성하였다. 이는 도시와 같은 복잡한 구조의 국지적 대기유동장 수치시뮬레이션에 필수적인 지표면 경계조건으로 토지이용의 중요성을 나타낸 것이다. 특히, 증발량의 차이에서 오는 물수지와 열수지에 의한 지표면 모수화는 침적 및 확산의 특징과 관련지어 광화학 모델의 입력자료로도 매우 중요하다. 예로 식생은 수증기의 변화, 지표침적 속도의 변화, 태양복사의 차단, 지표 바람의 변화, 열손실 감소 등의 지역 환경에 중요한 영향을 줄 수 있다. 또한 Vukovich (1980)는 도시열환경에 따른 지표면 온도와 바람장 특성에 관한 연구를 한 바 있으며, Eliasson (2000)은 도시계획에 있어서 기상학적인 지식이 중요하다고 주장하였다. 또한 도시기후형성 인자를 토지이용, 건물위치, 건물의 구성요소 등을 들었고, 인간에 의한 인공적인 환경변화가 국지적인 기온과 바람, 습도 등의 변화를 가져와 도시생활을 위협하고 대기질의 악화 등에 큰 영향을 미친다고 하였다.

이와 같이 도시의 열환경 구조가 토지이용과 밀접한 관련이 있다는 기존 연구를 바탕으로 본 연구에서는 토지이용 변화에 따른 부산과 인근지역의 열환경 변화를 파악하는 것에 그 목적을 두었으며, 이를 위해 중규모 기상장 모델인 MM5V3 (Mesoscale Model 5 Version 3)을 이용하였다.

2. 부산의 지형과 전반적인 열환경

본 연구의 대상지역인 부산은 그림 1에서 알 수 있듯이 해안을 따라 북북동에서 남남서로 길게 주 거지역이 형성된 연안 도시로서, 광복동으로부터 서면, 동래의 도심지를 지나는 골짜기와 신평에서 구포를 지나는 낙동강을 따라 골짜기가 형성되어 있는 지형적인 특성을 가지고 있다. 따라서 해양성 기

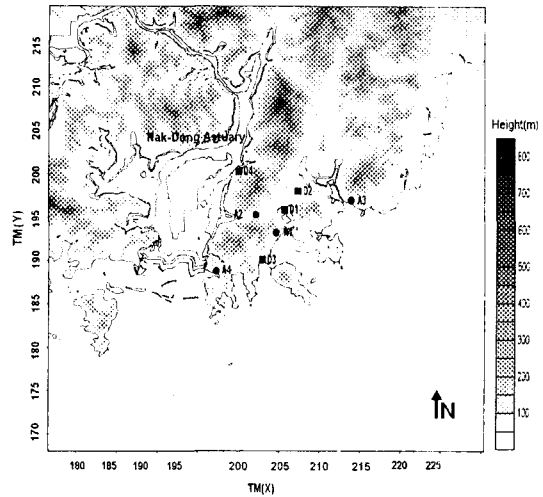


Fig. 1. Topography of MM5V3 modeling 4th domain. Shaded rectangle and circle denote district (D1: Seomyeon, D2: Dong-Lae, D3: Kwangbok-dong, D4: Ku-po) and AWS monitoring sites (A1: Pier 5, A2: Kae-kum, A3: Soo-young, A4: Sin-pyeong) in Busan.

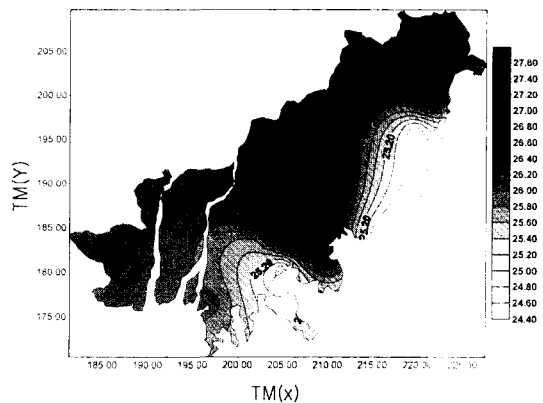


Fig. 2. Spatial distribution of the mean air temperature in August 1998.

후를 나타내며 국지풍인 해륙풍과 지형에 의한 풍계 변화가 뚜렷이 나타나게 된다.

그림 2는 부산지역 AWS (Automatic Weather System) (그림 1) 자료를 이용하여 8월의 평균 기온 분포를 나타낸 것으로 도심인 서면과 도심의 풍하측인 북동지역에 뚜렷한 열섬핵이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 도심에서 배출되는 다량의 인

공열과 지표면 마찰 및 주위 산악의 영향으로 인한 기류정체가 주된 원인으로 볼 수 있다(김유근 등, 2000).

3. 모델링 방법

3.1 모델의 개요 및 구성

MM5V3 중규모 기상모델은 sigma 좌표계로 쓰여진 비정수(non-hydrostatic) 방정식계를 사용하며, Arakawa B격자망으로 구성되어 있다. 공간적으로 2차 중앙차분법을 사용하며, 시간 적분 방법은 반암시(semi-implicit scheme) 및 시간 분리 방안(time splitting scheme)을 사용한다. 또한 기상분석과 관측자료(중관, 비중관)의 4차원자료동화(four-dimensional data assimilation, FDDA)가 가능하며, 다중격자방법으로 여러 개의 연직적인 단방향, 양방향으로의 동지격자를 사용할 수 있으며, 미시적 물리학에 관련된 여러 가지 방법들을 선택적으로 사용 가능하게 되어있다.

본 모델에서 사용된 물리과정 중 구름 모수화 과정은 상승·하강운동 그리고 보상운동을 고려하는 Grell(1993)의 모수화 방법을 사용하였는데, 이 방안은 10~30 km 이내의 수평격자에 유용하게 사용되며 격자 규모(grid-scale) 강수와 대류성 강수(convective rain)를 분리하여 고려한다. 그리고 복사과정은 명시적 구름(explicit cloud)과 장파 및 단파복사의 상호작용을 충분히 고려한 구름-복사 방안(cloud-radiation scheme)을 사용하였다.

또한 경계층을 묘사하는 물리식으로 Troen-Mahrt의 countergradient항과 잘 혼합된 PBL에서의 K profile에 근거를 둔 MRF planetary boundary layer (PBL) parameterization scheme을 사용하였고 explicit moisture schemes으로 상층의 과냉각수와 눈이 서서히 녹는 효과 등이 가미된 Mixed-Phase(Reisner)를 선택하였다. 이는 모델내의 효과적인 수증기 상호 교환이 가능하도록 하기 위한 것이다.

3.2 모델영역 및 기간

그림 3은 본 연구에서 사용한 모델 영역이다. 동지격자 도메인을 각각 27 km, 9 km, 3 km, 1 km 분해능의 4개 영역으로 나누었으며, 동지격자 모델의 외

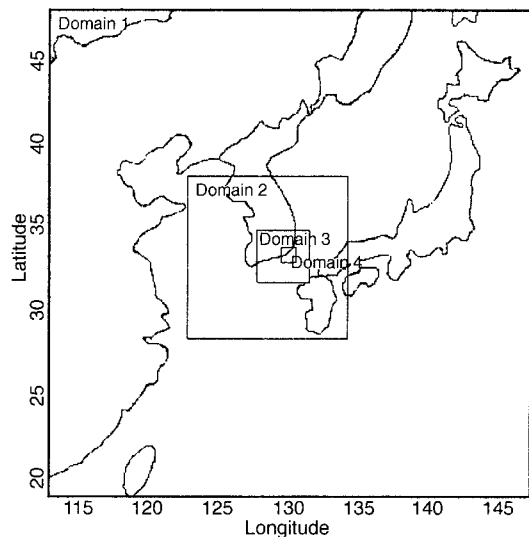


Fig. 3. The nested grid system configuration for urban climate effect from MM5V3 (each grid size is 27, 9, 3 and 1 km resolution).

부경계조건을 생성하기 위해서 two-way interacting nested grid system 방법을 사용하였는데 이것은 기존의 관측값을 이용하여 상세격자 도메인의 경계조건을 결정하는 것이다. 첫 번째 동지격자 모델링 영역은 27 km 간격으로 91×91의 수평영역으로 잡았고 그 중심은 35.18°N, 129.04°E이다. 그리고 두 번째와 세 번째 도메인의 격자간격은 각각 9 km와 3 km이며 91×91의 수평영역으로 설정하였다. 본 연구의 도시의 열환경 조사에 사용되어진 네 번째 동지격자 도메인의 모델링 영역은 부산의 대표적인 도심인 서면(35.18°N, 129.04°E)을 중심으로 46×46의 수평영역으로 설정하였다. 또한 연직 격자간격은 지형을 따르는 23개의 sigma 좌표로 설정하였고, 연구에서 쓰인 기온과 풍향 및 풍속은 최하층 sigma level로 약 36 m 고도이다.

대상기간은 지표면 토지이용 변화에 따른 국지기후 변화효과의 적절한 수치모의를 위해 구름이 없고 일사가 강하며 풍속이 약한 여름철 맑은 날인 2000년 8월 12일 0900 LST에서 8월 14일 0900 LST를 연구대상 기간으로 선정하였다. 모델의 초기 입력값의 균형을 맞추기 위해서 24시간 spin-up 시간을 두었다. MM5V3의 초기 기상장 입력자료는 National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

에서 제공하는 전지구 분석자료(Global Data Assimilation System, GDAS)를 사용하였다. GDAS 자료는 6시간 간격으로 연직 17층, 수평 2.5° 간격으로 구성된 전지구 관측자료로써 모델에 필요한 초기 기상입력자료가 저장되어있다. 또한 모델의 상세적 결과 값의 신뢰성을 검증하기 위해 대상 일의 AWS에서 관측된 기상자료를 사용하였다.

3.3 토지이용 변화

도시의 열환경 특성을 결정짓는 요소를 정확히 표현하기는 매우 복잡하고 어려운 일이다. 하지만 지표면 토지이용의 특성에 따라 도시의 열환경이 변하는 것은 이미 선행연구를 통해 잘 알려져 있다(이현영, 1995). 미래의 도시계획에 의한 도시내 녹지공원 조성사업과 같은 경우, 지표면 토지이용의

변화에 따른 도시의 열환경 변화 등을 예상 해 볼 수 있을 것이다. 여름철 부산의 지표면 토지이용 특성을 표 1에 제시하였는데, 이것은 United States Geological Survey (USGS)에서 제공하는 0.9 km 간격의 24개의 등급별 지표면 특성자료를 이용한 것이다. 표 1에 나타난 각각의 물리치수들은 24개의 USGS 등급 중 본 연구 영역에 해당하는 값들로 총 9개의 종류와 부산 총면적에 차지하는 토지이용 비율을 백분율로 나타내었다. 이러한 결과에 따르면 도시가 전체 영역에서 차지하고 있는 면적은 약 5.9%에 달하고 대부분이 농경지와 숲으로 덮여있다. 이와 같은 현재의 토지이용에 따른 도시의 열환경 구조가 인위적으로 조작된 토지이용에 의해 어떻게 바뀔 수 있는지 살펴보기 위하여, 본 연구에서는 8월의 열섬핵이 나타나는 도심 지역의 토지이용

Table 1. Description of vegetation categories and physical parameters during summertime (15 April~ 15 October) in modeling domain from USGS.

Land-use category	Albedo (%)	Moisture availability	Emissivity (% at 9 μm)	Roughness length (cm)	Thermal inertia (cal cm ² k ⁻¹ s ^{-1/2})	Percentage
Urban land	18	10	88	50	0.03	5.9
Dryland crop. past.	17	30	92	15	0.04	1.5
Irrg. crop. past.	18	50	92	15	0.04	12.4
Crop./Grs. mosaic	18	25	92	14	0.04	1.1
Crop./Wood mosaic	16	35	93	20	0.04	16.3
Grassland	19	15	92	12	0.03	< 1
Shrubland	22	10	88	10	0.03	2.7
Mixed forest	13	30	94	50	0.04	8.8
Water bodies	8	100	98	0.01	0.06	51

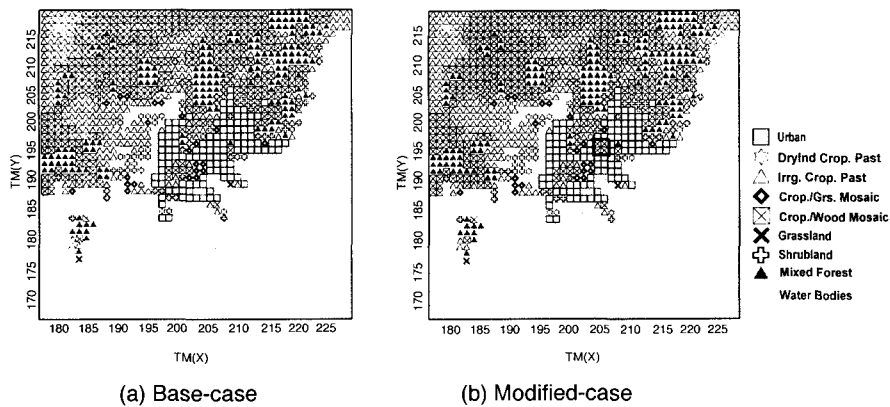


Fig. 4. Dominant vegetation category in modeling domain. Rectangle (right side) presents modified area from urban to crop and wood mosaic.

을 도시에서 경작지와 숲으로 바꿨을 경우(그림 4) 온도장의 변화를 MM5V3을 이용하여 진단하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 모델 민감도 분석

MM5V3 결과 값의 신뢰성을 검증하기 위해 본 연구에서는 온도와 풍속을 대상으로 관측값과 모델 값을 비교하여 민감도 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 관측자료의 생성위치는 그림 1에 제시된 바와 같이 각각 내륙과 해안선에 위치한 지점으로 개금, 수영, 5부두, 신평 지점이다. 그림 5는 온도를 대상으로 각 비교지점의 관측자료와 MM5V3 수치모의 결과 값을 비교하여 나타낸 그림으로, 전반적으로 관측값과 모델결과 값이 유사한 경향을 나타내

어 MM5V3의 결과값이 관측값을 잘 묘사하고 있음을 알 수 있다.

또한 4개 지점의 온도변화 특성은 한 낮에는 32°C 이상의 높은 기온을 나타내었고 밤에도 25°C 이상의 기온이 나타나는 무더운 여름철 날씨를 보였으며, 12일과 13일의 낮 기온은 비교적 차이가 있었지만 야간의 기온은 매우 비슷한 양상을 나타내었다. 아울러 내륙인 개금 지역의 하루 중 기온 변화폭이 큰 반면에 해안선에 위치한 수영지역은 기온의 변화폭이 상대적으로 작게 나타났다.

그림 6은 풍속과 풍향을 각 AWS 관측자료와 MM5V3 수치모의 결과 값을 비교하여 나타낸 그림이다. 전반적으로 풍속에 있어서 추세는 유사하지만, 다소 수치모델링 결과값이 관측값 보다 큰 경향을 보이고 있는데 이것은 모델의 결과값 고도가 실제 관측지점의 고도보다 높기 때문인 것으로 사료

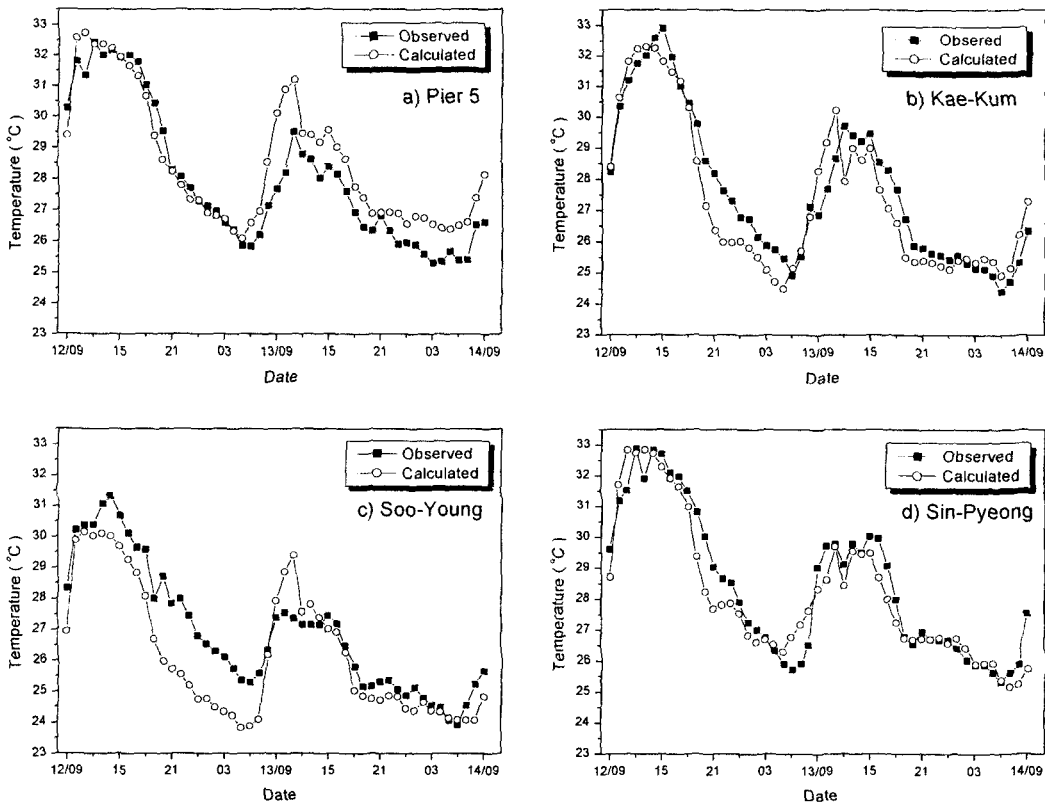


Fig. 5. Hourly variations between observed and calculated air temperature at meteorological monitoring site in Busan from 0900 LST on 12 August 2000 to 0900 LST on 14 August 2000.

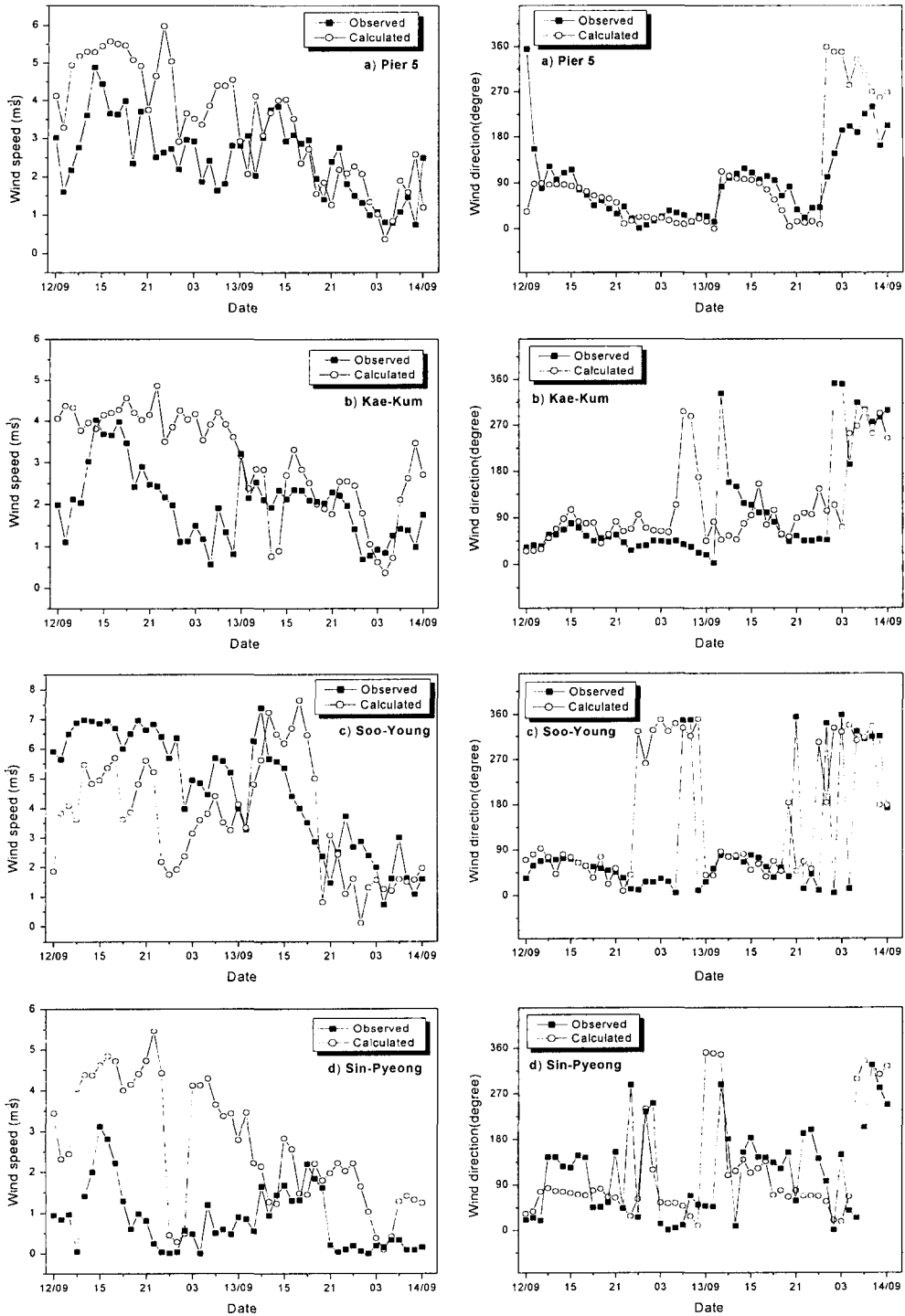


Fig. 6. Hourly variations between observed and calculated wind speed and wind direction at meteorological monitoring site in Busan from 0900 LST on 12 August 2000 to 0900 LST on 14 August 2000.

Table 2. Error analyses between observed and calculated air temperature and wind speed at each meteorological monitoring site in Busan during the simulated period (12 to 14 August 2000). (Unit : °C and ms⁻¹)

	Pier 5		Kae-kum		Soo-young		Sin-pyeong	
	Temp.	Wind speed	Temp.	Wind speed	Temp.	Wind speed	Temp.	Wind speed
MBE	-0.56	-1.07	0.29	-0.89	0.73	1.01	0.24	-1.81
RMSE	0.96	1.59	0.87	1.43	1.18	2.05	0.75	2.28

된다. 하지만 수영지점의 경우 오히려 관측값이 모델 결과값 보다 더 높게 나타났는데 이는 관측지점이 해안가에 인접해 있어 풍속이 다른 타 관측지점 보다 강하기 때문이다. 즉, 해풍의 효과가 아주 탁월한 수영의 경우 모델결과값이 관측값보다 작게 나타나는 것은 이러한 해풍의 효과를 자세하게 반영하고 있지 않기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 신평지점의 풍속에 있어서 관측값과 모델값이 큰차이를 보인다. 이 지역의 풍속 관측값은 다른 지역의 풍속값과 비교해 봤을 때, 아주 낮게 나타나는 특징이 있다. 즉, 아주 미세한 국지적인 효과의 영향으로 인한 결과를 모델이 반영하지 못하고 있음을 알 수 있다. 하지만 전반적으로 수치모의 결과값이 관측값과 유사한 결과를 보이고 있으며, 풍향의 경우 역시 고도의 차이로 인해 다소 차이를 보이지만 전 비교지점에 걸쳐 모델링 결과값이 관측값을 잘 묘사하고 있음을 보여준다.

표 2에서 관측값과 모델의 결과값을 평가하기 위한 오차를 제시하였다. 먼저 평균 편의 오차(mean bias error, MBE)는 식 1에서 알 수 있듯이 평균 관측값과 모델의 평균 계산값의 차로 정의 할 수 있으며 모델의 구조적 오차를 평가하는데 이용된다. 본 연구에서 기온은 5부두를 제외하고는 모두 관측값이 모델의 계산값 보다 높게 나타났다. 풍속은 수영을 제외한 전지역에서 음의 값을 보여 모델값이 관측값 보다 크게 나타난 것을 알 수 있다. 그리고 정밀도 오차를 평가하기 위해서 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)가 사용되었으며 그 계산방법은 식 2와 같다.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2} \quad (2)$$

여기서 O_i 와 M_i 는 관측값과 모델에 의한 계산값

이다.

관측값과 모델값이 차이가 가장 작게 나타난 지역은 개금 지역으로 해풍효과와 영향이 다소 약하게 나타나는 내륙지역에서 모델의 정밀도가 좋은 것으로 생각되며, 가장 차이가 많은 지역은 수영지역으로 기온과 풍속에 있어서 비교적 큰 오차를 나타내었다.

이상의 결과로 볼때, 동지격자법을 이용한 MM5V3의 기온 값은 실제 관측 값과 유사한 패턴을 보였으므로, MM5V3 내의 토지이용 변화를 통한 도시 열환경 수치모의가 가능하다는 결론이 나왔다.

4.2 토지이용 변화에 따른 열환경 변화 수치모의

토지이용에 따른 도시의 열환경 차이를 알아보고자 본 연구에서 토지이용 변화에 의한 부산지역 온도장의 변화를 수치모델을 이용하여 살펴보았다. 또한 AWS 관측지점에서 토지이용이 지표면 온도장에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 같은 조건의 기상장을 적용하여 가상 시나리오의 결과 값과 실제 토지이용 조건을 적용한(이후 base case로 적용) 결과 값을 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서 개금 지역은 토지이용 변화지역과 가장 가까운 곳으로 일사가 강한 낮 시간대에 기온의 큰 차이를 보이고 있는데, 이것은 지표면 알베도 효과와 도시와 숲의 수분저장량의 차이에서 기인된 지표면 에너지수지의 변화로 해석할 수 있다. 신평과 수영지점의 기온변화를 살펴보면 초기에는 거의 차이가 없는 것으로 나타나는데, 이는 두 지점이 토지이용 변화지역에서 가장 멀리 떨어져 있어 기온 변화에 미치는 토지이용 변화의 영향이 상대적으로 약하기 때문으로 볼 수 있다. 또한 모든 지점의 변동폭 역시 시간이 갈수록 커지고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 5부두를 제외한 신평, 개금, 수영지역의 온도가 도시열섬 지역의 토지이용의 변화를

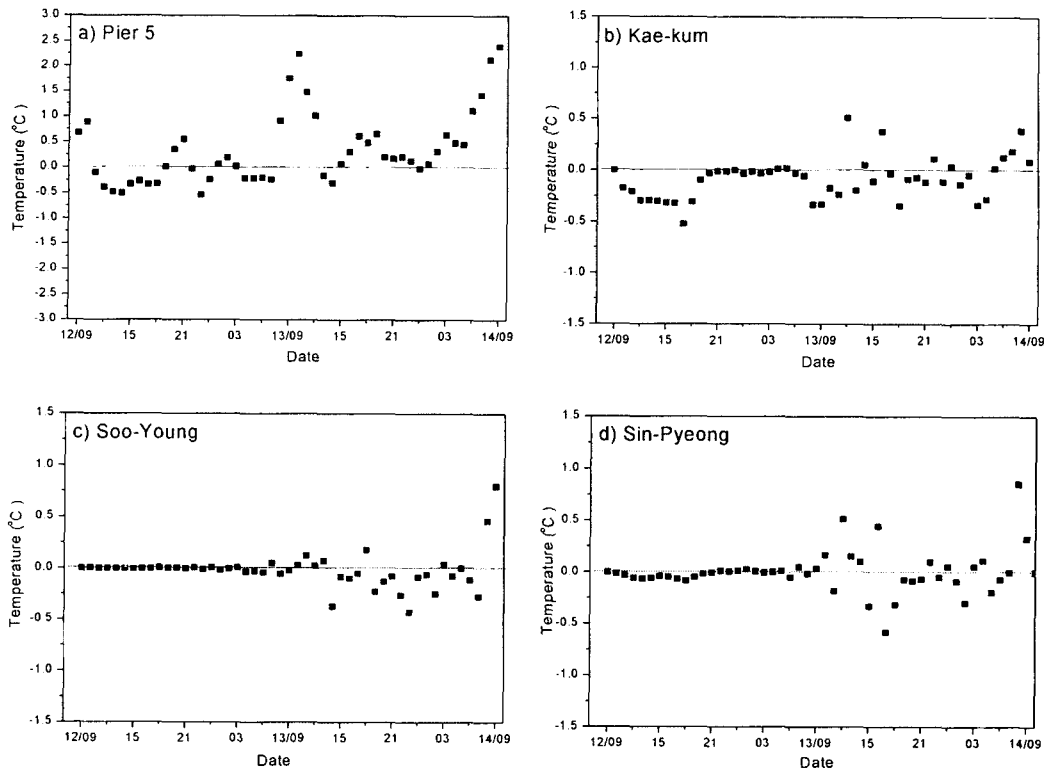


Fig. 7. Time series of difference between base and modified case in each meteorological monitoring site during the simulated period (12 to 14 August 2000).

통해서 낮아진 것을 알 수 있으며 이는 도심지역의 토지이용 변화가 주위 도시 열환경에 직접적인 영향을 미치고 있다는 것을 보여주는 결과이다.

그림 8은 토지이용 변화를 통한 도심의 열환경 변화를 나타낸 것으로 실제 열섬핵이 나타난 지역(동래, 서면)에서 보다 남쪽으로 떨어진 지역으로 고온지역이 이동한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 지표면 성질에 따른 열수지 차이에서 기인된 것으로 도심내의 녹지화가 도시 열환경에 미치는 영향이 상당함을 알 수 있다. 실제 부산은 도시에 산악에 의해 둘러 쌓여져 있기 때문에 국지순환 체계도 산의 영향을 많이 받는다. 즉, 산골짜기에 위치한 도시 내 풍속은 산악의 영향으로 다소 약해지며, 열섬핵 존재로 기류순환 또한 폐곡된 모습으로 나타날 수 있다(Goldreich, 1979a, b). 이러한 순환체계의 존재로 도시내의 오염물질은 잘 희석되지 못하고 도시내에 머물게 된다. 가상 시나리오에 의한 열섬핵

의 이동은 이러한 도시순환계의 변화를 가져올 수 있어 기존에 존재했던 도심의 열섬핵이 없어지면서 국지 순환을 보다 원활하게 할 수 있으며, 도시내의 대기질 개선효과에도 많은 도움이 될 수 있다.

앞에서도 언급하였듯이 일사가 강할 때 토지이용 변화 효과가 가장 잘 나타나고 있으므로, 토지이용 변화 효과를 더욱 자세히 보기 위해서 13일 1300 LST의 base case와 가상 시나리오의 온도와 풍속의 차이를 그림 9에 나타내었다. 온도가 낮아진 지역(B)은 도시부분의 토지이용을 경작지와 숲으로 대체시킨 지점으로 평균적으로 0.16°C 낮아졌고 그에 비해 서쪽지역(A)은 온도가 평균적으로 0.7°C 상승한 결과를 나타내고 있다(그림 10). 또한 온도가 낮아진 지역과 높아진 지역의 경계 부근에 강한 바람이 나타나고 기온이 상승한 지역의 중심 부근에 풍속이 줄어든 것을 알 수 있다. 풍속이 증가한 지역은 토지이용의 변화로 인해 주위지역과 온도 경도

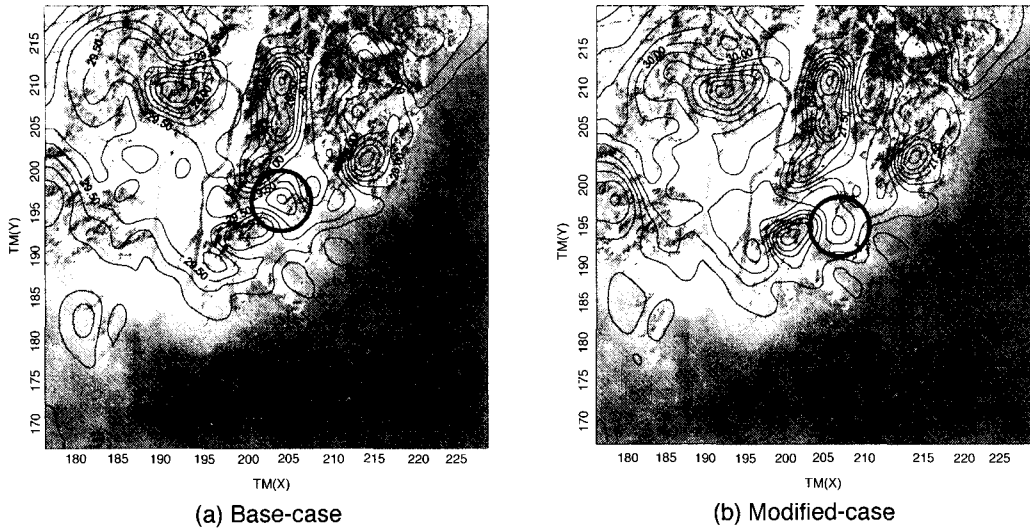


Fig. 8. Spatial distribution of air temperature in both base and modified land-use case at 1300 LST on 13 August 2000 in modeling domain. Open circle (thick line) denote heat core area.

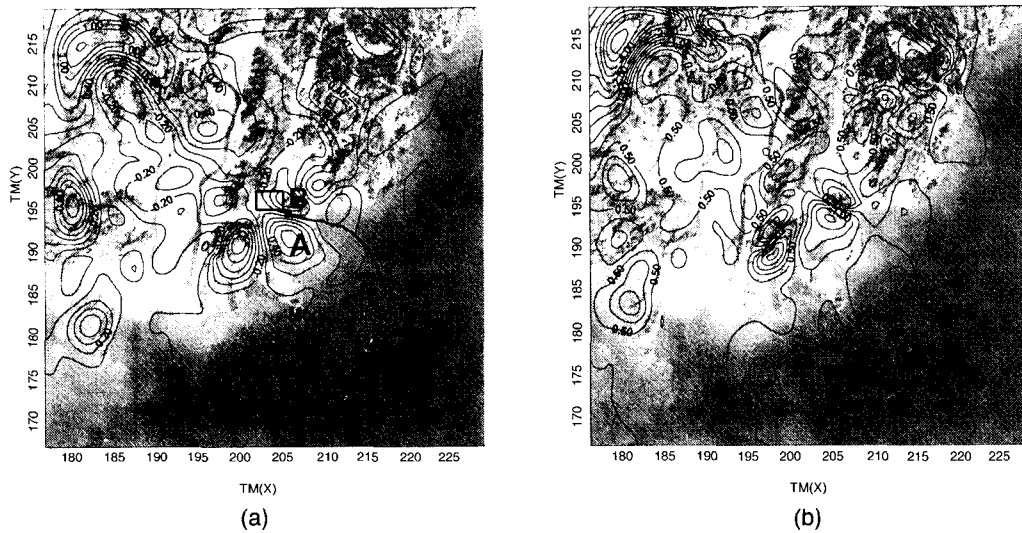


Fig. 9. Spatial distribution of difference of (a) air temperature and (b) wind speed between base and modified case at 1300 LST on 13 August 2000 in Busan.

가 커짐으로써 풍속이 증가하였고, 기온이 상승한 중심지역에서의 풍속이 줄어든 것도 이와 같은 맥락으로 해석할 수 있다. B지역의 온도 상승효과로 인한 고온핵의 이동결과(그림 8)는 이동전과 비교했을 때 순환적 측면에서 훨씬 유리한 결과를 가져

올 수 있다. 다시 말하면, 이동전의 고온핵이 존재하던 동래, 서면 지역의 풍속은 아주 약하고 사면이 산지로 둘러 쌓여 있어 순환체계의 정체성을 가중시킬 수 있지만, 토지이용 변화 후 고온핵이 나타나는 지역은 국지풍의 효과와 해륙풍의 효과가 더욱

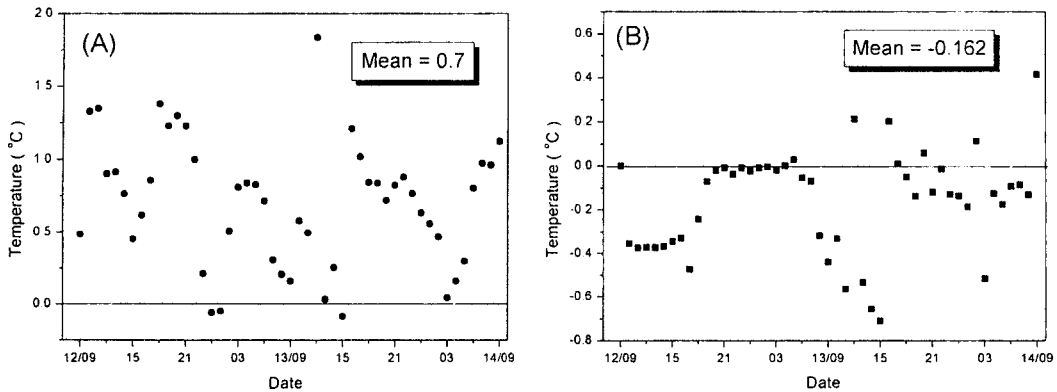


Fig. 10. Time series of difference between base and modified air temperature in Fig. 9 (a).

잘 반영되는 지역으로 국지적인 순환효과 측면에서 볼 때 훨씬 유리하게 작용 할 수 있다. 이와 같은 결과는 인위적인 지표면의 변화로 주변지역의 온도장과 바람장에 큰 영향을 미칠 수 있고, 이것은 지역적인 환경에 매우 민감하게 반응할 수 있다는 것을 말한다.

5. 결 론

본 연구에서는 고농도 대기오염현상이 발생할 수 있는 일사가 강하고 바람이 약한 맑은 날인 2000년 8월 12일부터 14일까지를 대상으로 3차원 중규모 기상모델인 MM5V3을 이용하여 다중격자체계를 적용, 도시 열섬현상이 나타나는 지역의 토지이용을 도시에서 경작지와 숲으로 변화시켜 이에 따른 국지지역 기상장의 영향을 살펴보았다.

모델결과와 신뢰성을 검증하기 위해 기온과 풍향 및 풍속에 대한 AWS 관측값과 MM5V3 수치계산 결과를 비교 분석한 결과 상호간에 유사한 변동을 볼 수 있으며 특히 기온의 경우 모델결과와 관측치가 잘 일치함을 알 수 있었다.

열섬핵이 존재하는 도시지역의 토지이용을 경작지와 초지로 변화시킨 시나리오 연구에서 기상인자의 변화 폭은 1300 LST에서 가장 크게 나타났고, 기온은 감소하고 풍속은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 도심지의 토지이용 변화를 통해 도시의 고온화 현상을 어느 정도 감소시킬 수 있다는 가능성

을 나타내었다.

이것은 앞으로 도시화에 따른 문제점을 해결할 수 있는 방법을 제시할 수 있고 도시내의 오염물질 정체성과 관련된 국지순환체계의 변화효과도 기대할 수 있다. 이와 같이 MM5V3을 이용한 다중격자체계의 국지지역 기상장을 수치모의한 결과 도시의 토지이용의 변화에 따른 미래 도시계획과 같은 대규모 토지이용변화와 환경영향평가 사업, 광화학 수치모델의 초기 기상입력자료 등에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

김유근, 이화운, 홍정혜, 손은하 (2000) 인공열과 land-use 가 부산시의 열적 환경에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 16(4), 363-372.
 이현영 (1995) 토지이용 변화가 국지기후에 미치는 영향, 대한원격탐사학회지, 11(3), 83-100.
 Eliasson, I. (2000) The use of climate knowledge in urban planning, Landscape and Urban Planning, 48, 31-44.
 Goldreich, Y. (1979a) A possible heat island effect on Bezuidenhout Valley air circulation and temperature distribution, S. Afr. Geogr. J., 61, 123-127.
 Goldreich, Y. (1979b) Influence of urbanization on mountain and vally wind regime, Proc. Sci. Conf. Israel. Ecol. Soc., Sede Boker, 10th, pp. D-19 to D-27.
 Ichinose, T. and K. Shimodozono (1997) Upgrade of surface boundary condition for numerical simulation of urban climate based on very precise geographic in-

- formation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 25-35.
- Kimura, F. and S. Takahashi (1991) The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A numerical experiment, *Atmos. Environ.*, 25B, 155-164.
- Oke, T.R. (1987) *Inadvertent modification of the city atmosphere and the prospect for planned to urban climates*, Proc. WMO Symp. on Meteor. as Related to Urban and Regional land-use Planning, Tech. Note 444, WMO, Geneva, 150-175.
- Pielke, R.A., G.A. Dau, J.S. Snook, T.J. Lee, and T.G.F. Kittel (1991) Nonlinear influence of mesoscale land-use on weather and climate, *J. Clim.*, 4, 1053-1069.
- Shashua-Bar, L. and M.E. Hoffman (2000) Vegetation as a climatic component in the design of an urban street an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Ener. Build.*, 31, 221-235.
- Vukovich, F.M. and W.J. King (1980) A theoretical study of the St. Louis heat island: the wind and temperature distribution, *J. Appl. Meteor.*, 15, 417-440.
- Pielke, R.A., G.A. Dau, J.S. Snook, T.J. Lee, and T.G.F. Kittel