

복잡한 해안지역에서 상세한 지형고도 자료이용에 따른 대기 유동장의 영향에 관한 수치모의

Numerical Simulation of Effect on Atmospheric Flow Field Using High Resolution Terrain Height Data in Complex Coastal Regions

이화운 · 원혜영* · 최현정 · 이강열

부산대학교 대기과학과

(2004년 12월 31일 접수, 2005년 3월 30일 채택)

Hwa Woon Lee, Hye Young Won*, Hyun-Jung Choi and Kang-Yeol Lee
Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

(Received 31 December 2004, accepted 30 March 2005)

Abstract

Recently air quality modeling studies for industrial complex and large cities located in the coastal regions have been carried out. Especially, the representation of atmospheric flow fields within a model domain is very important, because an adequate air quality simulation requires an accurate portrayal of the realistic three-dimensional wind fields. Therefore this study investigated effect of using high resolution terrain height data in numerical simulation. So the experiments were designed according to the detail terrain height with 3second resolution or not. Case 30s was the experiment using the terrain height data of USGS and Case 3s was the other using the detail terrain height data of Ministry of Environment. The results of experiments were more remarkable. In Case 3s, temperature indicated similar tendency comparing to observational data predicting maximum temperature during the daytime and wind speed made weakly for difference of terrain height.

Key words : MM5, High resolution terrain height data, Complex coastal regions

1. 서 론

산업화 및 도시화 과정에서 생겨난 많은 인위적인 배출원으로 인해 대기오염의 심각성이 두드러지면서 많은 연구들이 이루어졌으며 현재도 환경보전과 더

불어 쾌적한 삶의 영위라는 목표아래 수치모델을 적용하여 오염물질의 시·공간적 분포를 예측하고자 많은 연구가 시행되고 있다. 특히, 대기오염은 배출된 오염물질들의 난류 확산 및 수송, 화학 반응, 침적 현상 등에 의해 결정되므로, 이들을 지배하는 기상인자들에 대한 정확한 이해는 대기오염현상을 파악하고 이에 대한 오염 규제 대책을 세우기 위한 필수 요소라고 할 수 있다 (McKendry, 1993; Liu *et al.*, 1987;

* Corresponding author
Tel : +82-(0)2-834-5920, E-mail: comet909@hanmail.net

Lasas *et al.*, 1982). 그래서 Kondo and Gambo (1979)는 혼합고의 발달여부와 관련하여 해륙풍의 강도에 따른 대기오염물질의 확산에 관한 연구를 수행한 바 있으며, 또한 대상 지역의 지형 및 지리적 특성에 따른 대기오염에 관한 연구도 이루어진 바 있다(류찬수 등, 2004; 이순환 등, 2002; Carvalho *et al.*, 2002; 김영성과 오현선, 2000; Kusaka *et al.*, 2000). Jacobson (1999)는 로스앤젤레스지역을 대상으로 지표 경계자료로 주어지는 토양 수분량(soil moisture)의 초기값에 따른 기상장(기온과 바람)과 오염물질의 농도 분포에 대하여 수치모의를 하였고, Jazcilevich *et al.* (2002)은 멕시코시에 위치한 텍코코 호수의 토지 이용의 변화에 따른 기상요소의 변화와 오염물질의 농도 변화에 대해 수치모의를 함으로써 모델 내에 입력되어지는 지형 및 지표 특성에 따라 대기 유동장은 물론이고, 그 지역의 대기 오염물질의 시·공간적

분포를 살펴보는 대기질 모델링에도 영향을 미치는 것을 보였다. 지형고도 자료는 모델 내에서 계산 영역에서의 하부 경계를 만들어 내는 과정에서 사용되어지는데, 주로 미국지질조사소(the U.S Geological Survey; USGS)에서 제공하는 지형 자료들을 이용해 왔다. USGS에서 제공하는 지형자료의 해상도는 6가지로 1 deg., 30 min., 10 min., 5 min., 2 min., 30 sec.이다. 특히 복잡한 해안지역에 대한 상세 대기 유동장 수치모의의 시 해상도가 낮은 지형자료를 이용하게 되면 해안에 위치한 관측소가 모델 내에서는 바다 위에 위치하는 경우도 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 전라남도 동부 연안에 위치한 대표적인 공업 및 항구 지역인 광양만권역을 대상으로 기상장 수치모의를 함에 있어 해상도가 큰 상세한 지형자료를 이용하여 연구대상지역의 지역적 특성이 표현된 대기 흐름을 수치모의하고자 하였다.

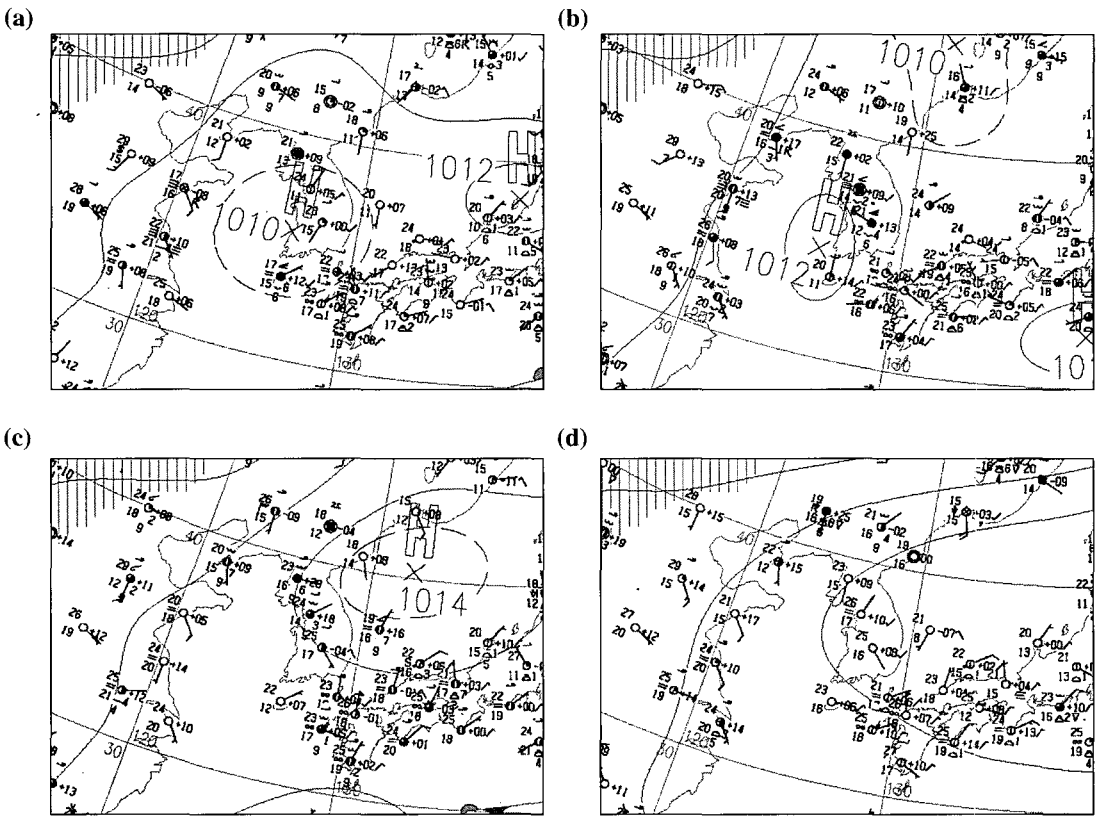


Fig. 1. Surface weather maps at (a) 0900 LST on 3 June, (b) 0900 LST on 4 June, (c) 0900 LST on 5 June and (d) 0900 LST on 6 June 2002.

2. 연구방법

2.1 대상지역 · 사례일 · 모델의 개요

광양만권은 해발 200 m 초과 지역이 전체 면적의 48.0%인 235 km² 정도를 차지하고 있으며, 소백산맥의 지맥인 ‘ㄱ’자 형태의 백운산(1,218 m)을 필두로 동서로 늘어선 일군의 산들이 구례군과 경계를 이루고 있는 남쪽으로는 급경사의 지맥으로 광양만을 향해 자연스럽게 형성되어 있어 대상지역의 중심 지점인 광양만을 둘러싸고 복잡한 해안선을 낀 “배산임해”형의 지형을 형성하고 있다. 이러한 지역을 대상으로 수치모의를 하기 위해 선택된 사례일은 2002년 6월 3일부터 6일까지 총 72시간이며 그림 1

에 수치모의 기간 중 0900 LST에서의 지상 일기도를 나타내었다. 사례일동안 한반도 및 동해상에 걸쳐 고기압의 영향 하에, 대체로 맑은 날씨인 가운데 약한 기압경도로 종관장의 영향이 적은 날이었다. 이를 바탕으로 수치모의 모델은 MM5로서 미국 국립 기상연구소(National Center for Atmospheric Research; NCAR)와 펜실베이니아 주립대학이 공동 개발한 후 지속적으로 개선되어 온 3차원 기상모델이다. 지형을 따르는 σ -좌표계로 쓰인 비정수(Non-hydrostatic) 방정식계를 사용하며 아라카와(Arakawa) B 격자망으로 구성되어 있다(NCAR, 2003). 본 연구에서는 광양만권역을 중심으로 수평적으로 등지격자기법을 도입하여 고해상도 기상장 수치모의를 하기 위해서 대규모 영역부터 시작하여 관심 영역까지 계산을 하

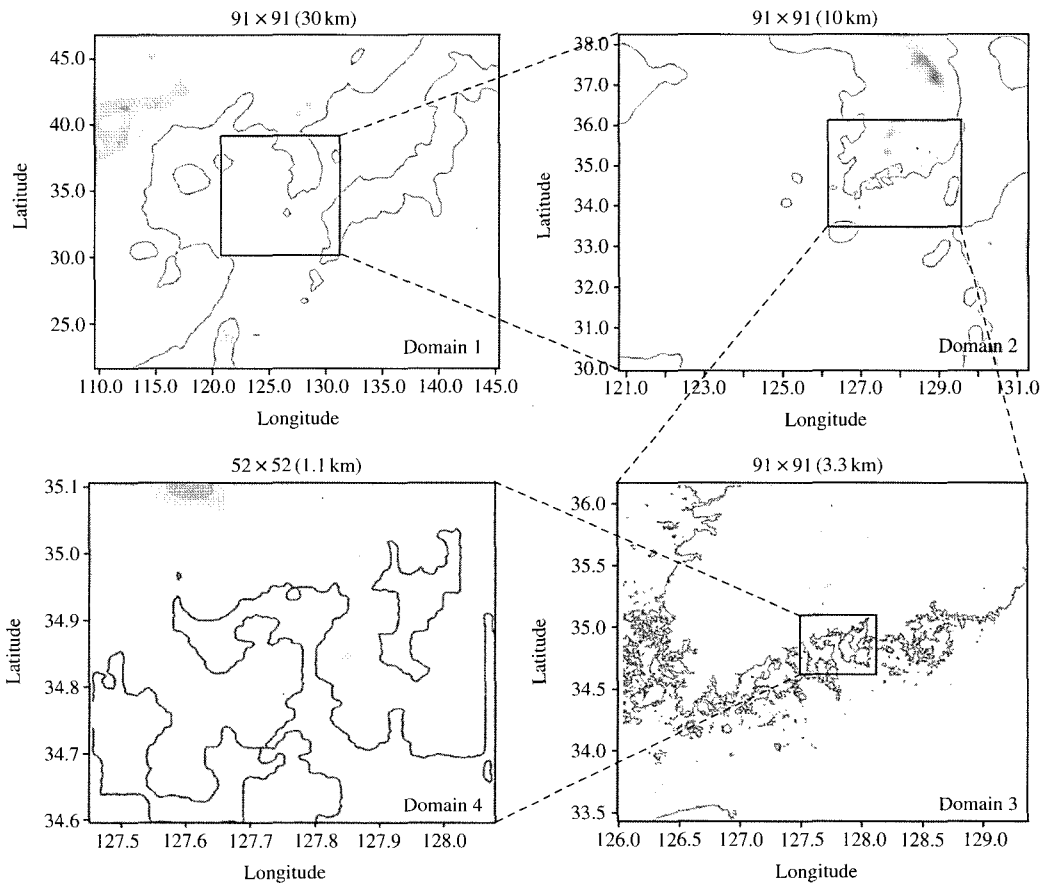


Fig. 2. The domains of calculation for MM5: Each domain includes Korea Peninsula, South Korea, South coastal region and Gwangyang Bay, clockwise.

며 계산영역 경계에서의 되먹임(feed-back)을 허용하는 쌍방 격자계(two-way nesting)를 사용하였고, 그림 2에는 계산영역과 격자 구성을 나타내었다. 30, 10, 3.3, 1.1 km으로 구성하였으며 연직적으로는 33층으로 구성하였다. 적은 모수화 과정은 격자 크기가 10~30 km인 중규모에서 적합한 Grell cumulus Scheme을 사용하였다(Grell, 1994). PBL경계층에 대한 물리과정은 Hong and Pan (1996)에 의해 제안된 것으로 NCEP MRF (Middle-ranged forecast)모델에서 사용되어 현열, 잠열 그리고 운동량에 대한 연직 플럭스를 계산하기 위해 비국지적 연직 확산을 고려하는 MRF PBL Scheme을 사용하였다. 미세물리과정은 Reisner *et al.* (1998)에서 제안한 Mixed-Phase Scheme을 사용하였는데 이는 상층의 과냉각수와 눈이 서서히 녹는 효과 등이 가미된 물리과정이다. 복사과정으로 사용한 RRTM longwave Scheme은 높은 정확도와 효과적인 방법으로 수증기, 이산화탄소, 오존 등의 상세한 흡수 스펙트럼의 효과를 나타낸다(Mlawer *et al.*, 1997). 지표면 물리과정은 연직적으로 5개(1, 2, 4, 8, 16 cm)층으로 고정하여 연직 확산 방정식을 통해 계산되어지는 온도를 사용하여 연직적으로 지표면 온도의 일변화를 빠르게 모의하는 Five-Layer soil Scheme을 선택하였다(Dudhia, 1996).

2.2 자료 및 실험설계

광양만권역을 상세히 표현하기 위해 사용되는 지형고도 자료에 따른 기상장에 미치는 영향에 관한 수치모의를 하기 위하여 표 1과 같이 실험설계를 하였다. 앞서서 언급했듯이 MM5내의 TERRAIN에서 제공하는 USGS의 자료 해상도가 1 deg., 30 min., 10 min., 5 min., 2 min., 30 sec.여서 상세한 지형을 표현하기에 부족함이 있으므로 광양만권역의 복잡한 지형을 모델 내에서 표현하기 위해 환경부에서 제공하는 3 sec. 지형고도 자료(이하 ME 3 sec)를 이용하여

Table 1. The experimental designs.

Experiment	Numerical simulation	Terrain height data (applied)
Case 30s	MM5	USGS 30 sec
Case 3s	MM5	ME 3 sec

MM5 : 3-D simulation model applied
 ME 3 sec : Terrain height data gridded 3 sec of Ministry of Environment

MM5내의 TERRAIN에서 수평적으로 지형 및 지표 자료가 보간되어 질 때 상세한 지형경계 자료를 사용하게 하였다. ME 3 sec 자료는 표고수치모델의 결과로 얻어지는 것으로 USGS와 동일한 DEM파일 형식이며, 위·경도 1 deg.에 대하여 3 sec. 간격으로 1200개

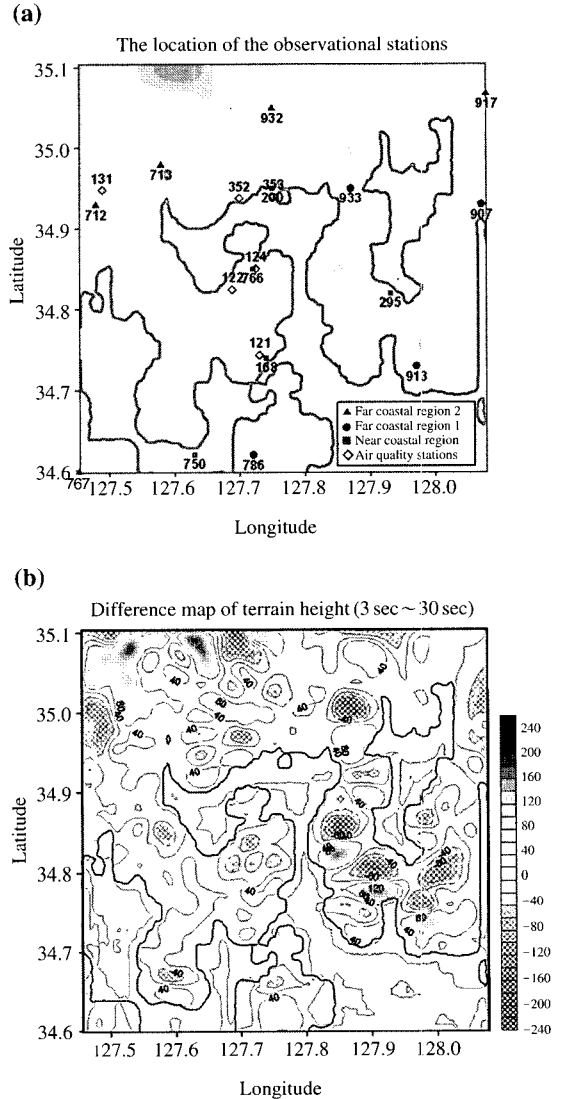


Fig. 3. (a) The location of the surface observational stations in Gwangyang area and (b) the difference map of terrain height between 3 sec and 30 sec in domain 4. The positive values mean terrain height of 3 sec is higher than that of 30 sec and solid line means terrain height is zero for 30 sec.

의 자료가 포함되어 있어 USGS 30 sec보다 해상도가 높아 복잡한 지역의 상세한 표현이 가능하다. 이러한 상세 지형고도 자료의 이용에 따라 Case 30s는 USGS에서 제공하는 MM5내의 USGS 30 sec 지형고도 자료를 이용한 경우이고, Case 3s는 환경부에서

제공하는 ME 3ec 지형고도 자료를 이용하여 수치모의를 한 경우로 그 외의 조건은 동일하게 주었다. 그림 3 (a)은 USGS 30 sec를 이용하여 1.1 km로 표현된 광양만권역의 지형도와 함께 기상 및 대기질 관측소의 위치를 함께 나타내었고, 그림 3(b)는 3(a)와 같은

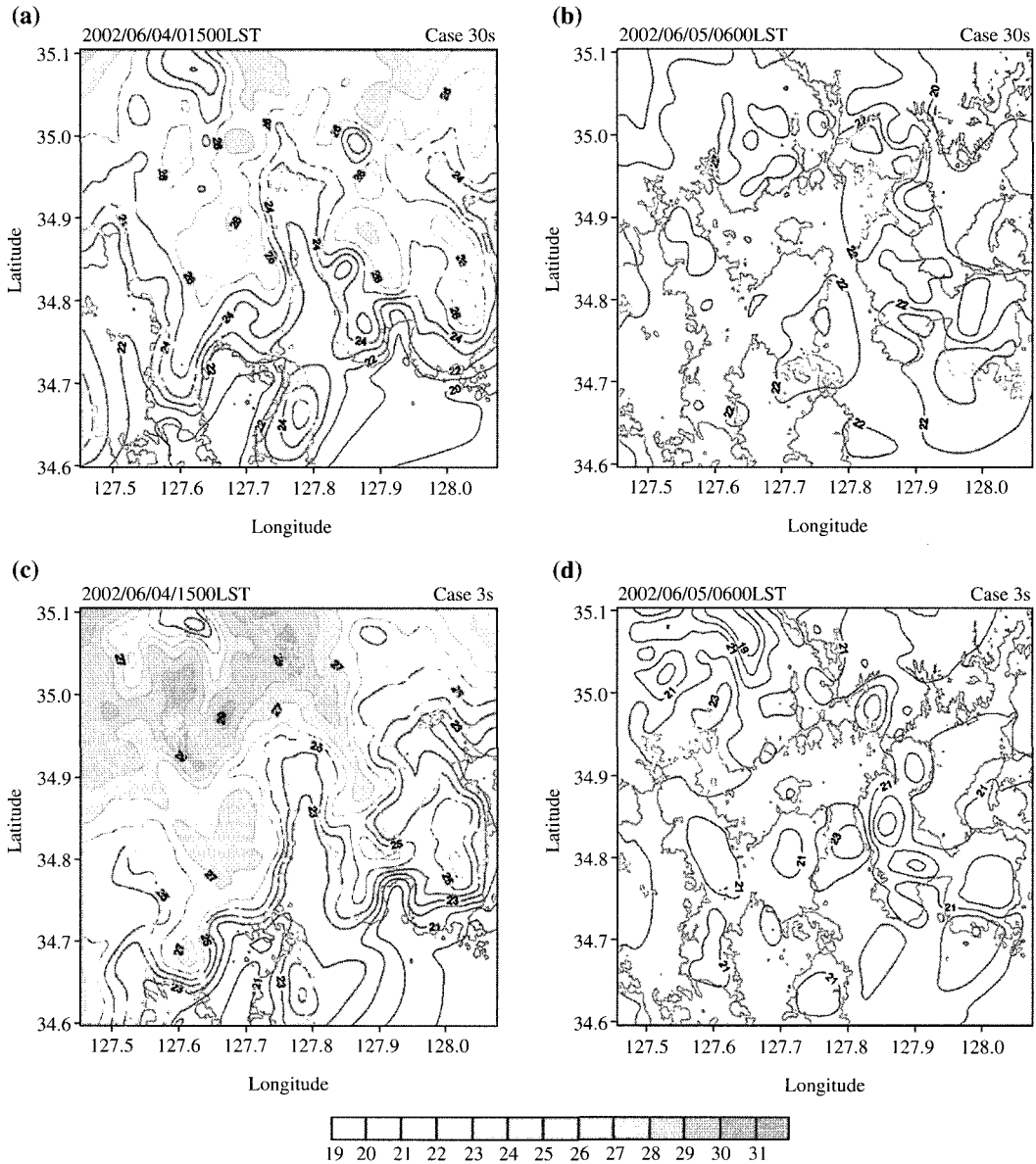


Fig. 4. The horizontal air temperature fields for Case 30s at (a) 1500 LST on 4 June and (b) 0600 LST on 5 June and for Case 3s at the same time (c) and (d) and the difference of air temperature between Case 3s and Case 30s (d) and (e) at the same time.

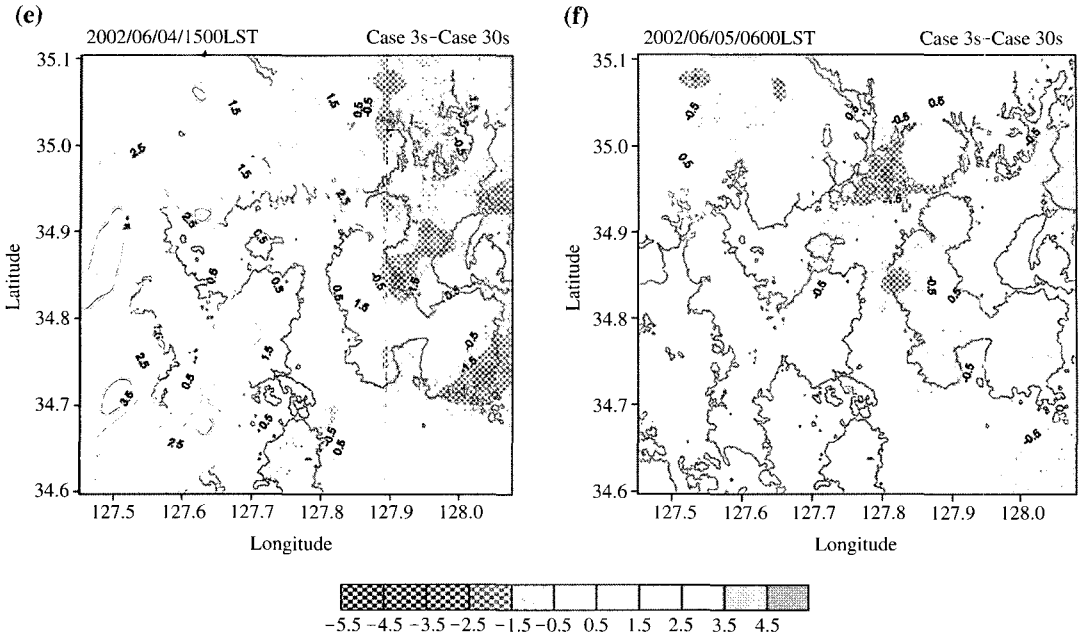


Fig. 4. Continued.

광양만권역의 지형도 위에 USGS 30 sec과 ME 3 sec 자료를 1.1 km로 표현하였을 때 지형고도의 차이를 나타낸 것이다. 이때 지형고도의 차이는 최대 220m, 최소 -225m 정도의 차이를 보이고 있으며, 좌측 상단에 위치한 백운산의 높이가 상승하였으며 ‘ㄱ’ 자형의 지형도 자세히 표현이 되고 있다. 또한 남해도를 비롯한 대상영역 내의 크고 작은 봉우리들이 있는데 이들의 지형고도는 높아지고 봉우리 간의 골(valley)의 지형고도는 낮아져 복잡한 지형을 잘 표현함으로써 이에 따른 기온장과 바람장에 지형의 효과가 나타날 것으로 사료된다.

3. 수치모의 결과

3.1 대기 유동장의 결과

수치모의 기간 중 2002년 6월 4일 1500 LST와 6월 5일 0600 LST에서의 기온장과 바람장을 Case 30s와 Case 3s에 대하여 그림 4와 그림 5에 나타내었고, 기온에 대하여는 Case 30s와 Case 3s의 차이도 함께 나타내었다.

그림 4(a) 4일 1500 LST에는 강한 일사에 의해 일

최고기온이 나타나는 시각으로 최고기온은 28.5°C를 나타내고 있다. 광양만을 끼고 광양산단 및 제철소, 여수산단, 울촌공단 등 광양시, 여수시, 순천시에서 각각 고온역이 나타나는 것을 볼 수 있고 여수반도와 남해도, 돌산도에 위치한 높은 봉우리에서 일사에 의한 높은 기온을 나타내며 급격한 지형고도의 변화에 따라 해륙간의 비열차이로 인해 해안선을 따라 강한 기온경도가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 또한 일반적으로 낮 동안에는 내륙에 비해 해양에서의 기온이 낮으나 광양만을 비롯한 여천지역과 남해도를 끼고 있는 해안에서는 주의에 위치한 여러 산단과 공단 등에 의한 열원의 제공과 주위의 높고 낮은 봉우리들로 인한 지형적인 효과로 인해 고온역이 나타나고 있다. 그림 4(b) 0600 LST에는 일최저기온이 나타나는 시각으로 최저기온은 19.2°C를 기록하면서 해륙간의 비열차로 인해 순천 및 사천 내륙에서 저온역이 나타난다. 광양만을 비롯하여 대체적으로 21.0°C의 기온이 넓게 분포하는 가운데 남해도의 북부와 남부, 여수시 부근의 해양에서의 기온이 1.0~2.0°C 더 높아 약한 기온 경도를 보인다. 이에 반해 상세한 지형고도자료를 이용했던 그림 4(c) Case 3s에 있어

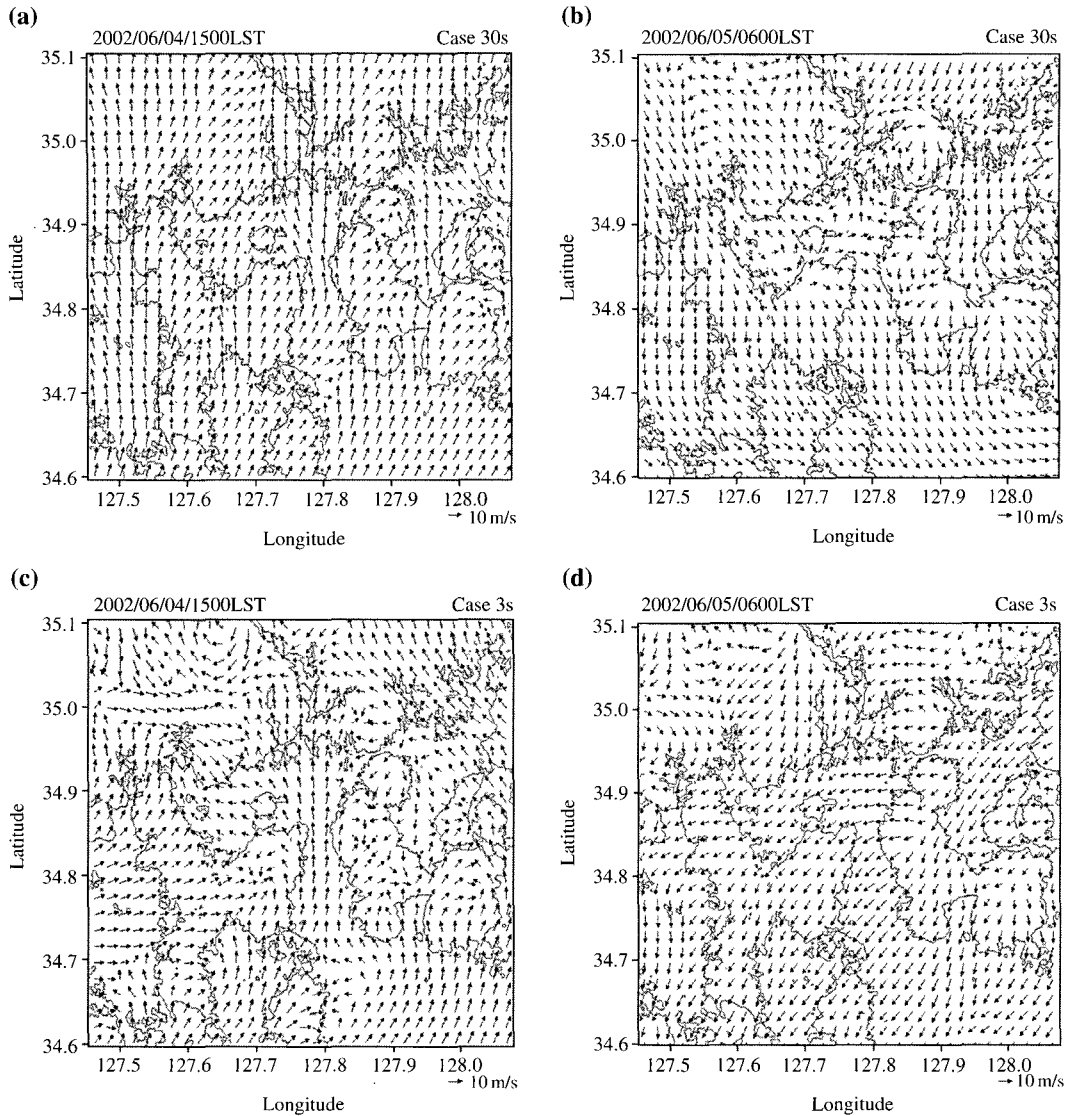


Fig. 5. The horizontal wind fields for Case 30s at (a) 1500 LST on 4 June and (b) 0600 LST on 5 June and for Case 3s at the same time (c) and (d).

서는 백운산과 여러 봉우리에서 높아진 지형고도에 의해 일최고기온이 최대 29.8°C를 보이고 있으면서, Case 30s에 비해 더욱 급격해진 지형고도의 변화로 해안선을 따라 5.0°C 정도의 더 강한 기온 경도를 보이고 있다. 0600 LST에서는 (그림 4(d)) 전체적으로 Case 30s에 비해 1.0°C 정도 하강하는 모습을 보이며 특히, 산봉우리를 중심으로 저온역이 나타나는 모습을 볼 수 있다. 이는 기온의 분포에 있어 두 실험의

차이를 나타낸 그림 4(e)~(f)를 통해서도 확연히 표현된다. 광양만권역을 대상으로 USGS 30 sec와 ME 30 sec와의 지형고도의 변화를 보였던 그림 3(b)와 그림 4(e)~(f)를 비교해보면 고도변화에 대한 온도변화가 정확히 비례적 관계는 아니지만 지형고도변화가 컸던 백운산을 중심으로 기온상승이 강하게 표현되어 일최고기온이 나타나는 1500 LST에서 2.5°C 이상의 기온이 상승하였으며 남해도를 비롯한 높고

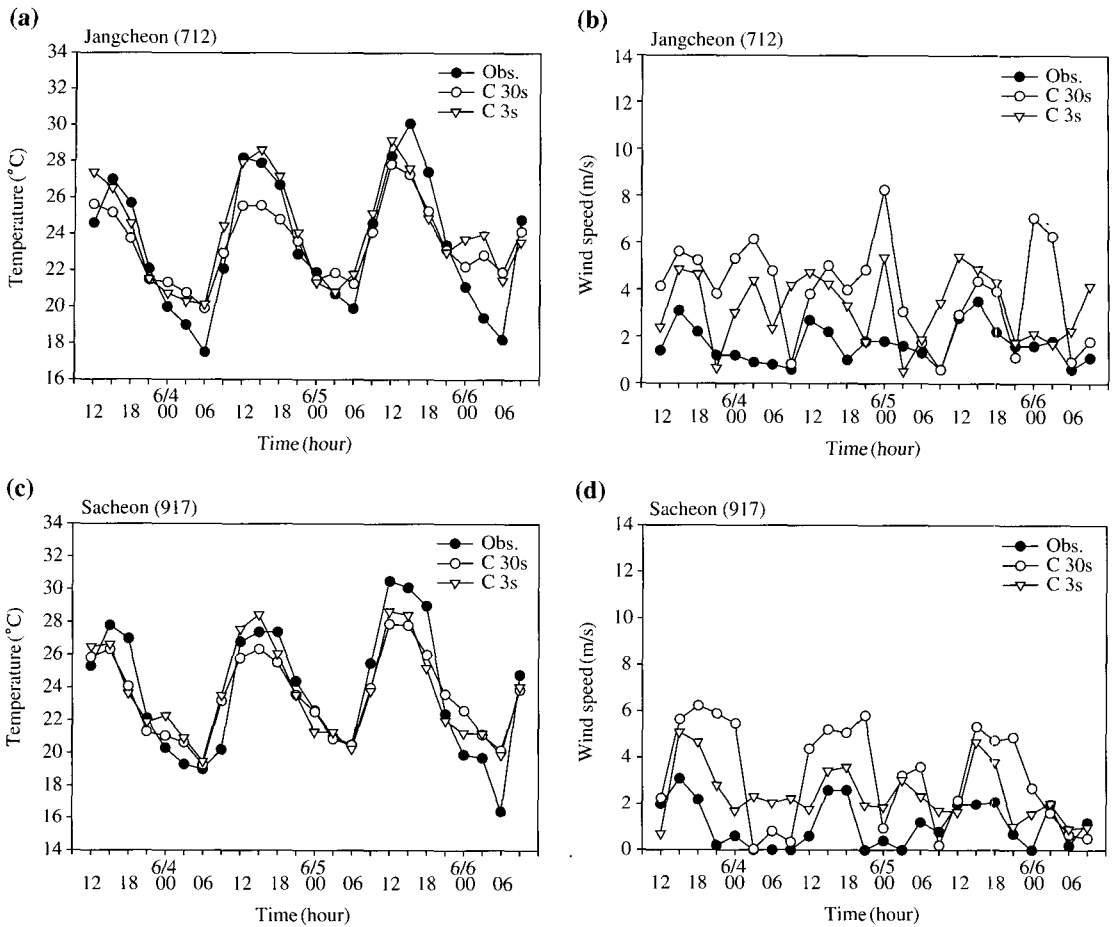


Fig. 6. Time series of temperature ((a), (c)) and wind speed ((b), (d)) for the surface station at Jangcheon and Sacheon as the results of experiment.

낮은 봉우리의 정상에서도 대체로 1.5~3.5°C의 기온 상승을 보였다. 그리고 기온변화가 가장 크게 나타나는 대상영역의 서남해상부근에서도 40 m 정도의 지형고도의 변화가 나타났다. 지형고도가 낮아진 골(valley)을 따라서는 0.5~1.5°C 정도의 기온하강이 보이고 있다. 반대로 일최저기온이 나타나는 0600 LST에서는 높은 봉우리를 따라 19.0°C의 저온역이 분포하고 있는 가운데 지형고도의 변화가 가장 큰 백운산에서는 17.6°C를 보이고 있으며 지형고도가 높아진 곳에서는 0.5°C의 기온하강, 지형고도가 낮아진 곳에서는 0.5°C 정도의 기온상승이 나타났다. 뒤에서 설명할 그림 6에서 관측값과의 비교를 하겠지만, 지형고도의 변화로 지표근처의 건물이나 도시효

과들이 가감되면서 이러한 차이가 나타남으로서 수십미터의 지형변화에도 기온과 풍속의 변화가 나타나는 것으로 사료된다.

바람장의 경우 그림 4와 마찬가지로 Case 30s에 대하여 2002년 6월 (a) 4일 1500 LST, (b) 5일 0600 LST와 Case 3s에 대하여 (c) 4일 1500 LST, (d) 5일 0600 LST를 그림 5에 나타내고 있다. 그림 5(a)는 4일 1500 LST에서 전반적으로 남풍계열의 해풍이 광양만으로 불어 들어가고 있는 모습이다. 높고 낮은 산과 봉우리들로 인해 지형적인 골(valley)이 생긴 곳이 많아 그 골을 따라 바람이 불어 들어가면서 풍속이 강해지는 곳이 많으며 최대 7.5 m/s 풍속을 기록하고 있다. 특히 여수반도와 남해도 사이의 강한

기온의 경도와 더불어 지형적으로 생긴 골(valley)을 통해 강한 바람이 동광양시까지 불어 들어가는 것을 볼 수 있다. 또한 여수반도와 남해도, 돌산도의 해안선을 따라 높은 기온 경도로 인해 내륙으로 강하게 바람이 불어 들어가는 것을 볼 수 있다. 그림 5(b)는 5일 0600 LST에서 해풍이 부는 그림 5(a)와 반대로 전반적으로 약한 기온 경도와 함께 풍속이 약해졌으며 북풍계열의 육풍이 우세하게 나타나고 있으며, 광양시 부근에서는 그림 4(b)를 통해 보았듯이 기온경도가 약해 북풍계열로 일관하기 보다는 남동풍 및 남서풍으로 불어 들어가다 동광양시 북서쪽에 위치한 'ㄱ'지형 백운산의 지형적인 효과로 순천시 부근의 불어나오는 북서풍계열의 육풍과 함께 돌아 나오고 있다. 그림 5(c)에서는 해륙간의 비열차이로 기온경도가 가장 큰 1500 LST로 남풍계열의 해풍이 불어 들어가는 가운데 그림 5(a)의 Case 30s에서는 크고 작은 봉우리들을 넘어갔던 해풍이 Case 3s에서는 높아진 지형고도와 이에 따른 강한 기온 경도로 바람의 수렴이 백운산을 비롯한 망운산, 금산 등지에서 나타나고 있다. 새벽녘인 그림 5(d) 0600 LST에서는 북풍 및 동풍계열의 육풍이 불어 나오고 있는 가운데 높은 봉우리를 넘지 못하고 골(valley)을 따라 돌아 나오며 특히 'ㄱ'자의 백운산을 돌아 나오면서 순천시와 광양시의 경계부근에서 바람이 수렴되는 모습을 볼 수 있다.

3.2 관측값과의 비교

각 실험에 대하여 관측값과의 비교를 Case 30s, Case 3s에 대하여 온도, 풍속의 시계열을 그림 6에 나타내되 각 관측소에 대하여 ME 3sec 자료의 이용할 때 지형고도의 변화를 살펴 본 후, 지형고도가 높아진 관측소와 낮아진 관측소 중에서 대표적인 한 관측소만 나타내었다. 계산 영역에 걸쳐 최대 220 m, 최소 -225 m 정도의 고도변화가 있으나 관측소의 부재로 인해 관측소가 있는 곳을 중심으로 지형고도의 변화에 따른 대기 유동장의 변화를 보기 위해 21 m 정도 높아진 장천(712)의 경우와 18 m 정도 낮아진 사천(917)의 경우에 대해서 관측값과의 비교를 해보았다. 정도의 차이는 보이지만 지형고도변화에 따른 효과가 수치모의 기간에 걸쳐 나타나고 있으며 특히 6월 4일의 경우 그 효과가 가장 크게 나타나고 있는데 이는 그림 1의 일기도를 통해서 알 수 있듯이 종관

적으로 약한 기압경도를 보이는 맑은 날로 상대적으로 국지적 해륙풍이 잘 발달한(논문에서 보이지는 않았지만 3일간의 기상요소의 변화를 통해 살펴봄) 날이었다. 본 연구에서 상세한 지형고도자료를 이용함으로써 광양만권역의 대기 유동장에 미치는 효과와 그리고 나아가 종관 순환계 뿐 아니라 국지 순환계의 상세표출을 보고자 하였는데 사례일이 그러한 순환계가 나타나면서 상세지형고도 자료의 효과가 크게 나타난 것으로 사료된다. 먼저 기온에 대해 살펴보면, 전반적으로 일변화경향을 잘 모의하고 있는 가운데 장천(712)지점에서는 Case 3s 경우 높아진 지형고도로 인해 1200 LST~1500 LST에서 Case 30s에 비해 최대 3.0°C 정도의 차이를 보이면서 일최고기온을 따르고 있으며 사천(917)지점의 경우 또한 Case 3s가 낮 동안의 일최고기온을 Case 30s보다 잘 표현하고 있는 가운데 특히, 다른 지점에 비해 일최저기온을 잘 모의하고 있다. 풍속은 Case 30s의 경우 모델 내에서 과대평가하고 있는 반면 Case 3s에서는 전체적으로 풍속이 약해진 모습을 보이고 있는 가운데 장천(712)지점에서는 Case 30s에서 관측값과 최대 7.0 m/s의 차이를 보이고 있으며 이보다는 Case 3s가 관측값을 더 유사하게 표현하고 있다. 사천(917)지점에서는 2.0 m/s 정도의 과대평가하고 있으나 Case 3s에서 풍속의 일변화 경향을 잘 모의하고 있는 반면 Case 30s에서는 최대 6.0 m/s의 차이를 나타내고 있다.

4. 통계적 검증

설계된 실험의 결과들을 통계적 분석 및 평가를 하기 위해 Willmott(1982)에서 보였듯이 각 관측소 지점별로 관측값과의 오차(error)정도나 일치도 및 상관정도를 살펴보았다. Root Mean Squared Error(이하 RMSE)는 표준편차와 비슷한 의미로 모델로 예측된 값이 실제 관측값과 평균적으로 얼마 정도의 차이(error)를 보이는가를 나타내는 것으로 그 값이 작을수록 모델의 해석능력이 높은 것을 의미한다. Index of Agreement(이하 IOA)는 관측값과 예측된 값과의 일치도를 나타내는 것으로 0.0~1.0 값을 가지고 1.0 일 때 두 값 사이의 완벽한 일치도를 보이는 것으로 0.7 이상이면 유효한 값으로 여겨진다. Regression(이

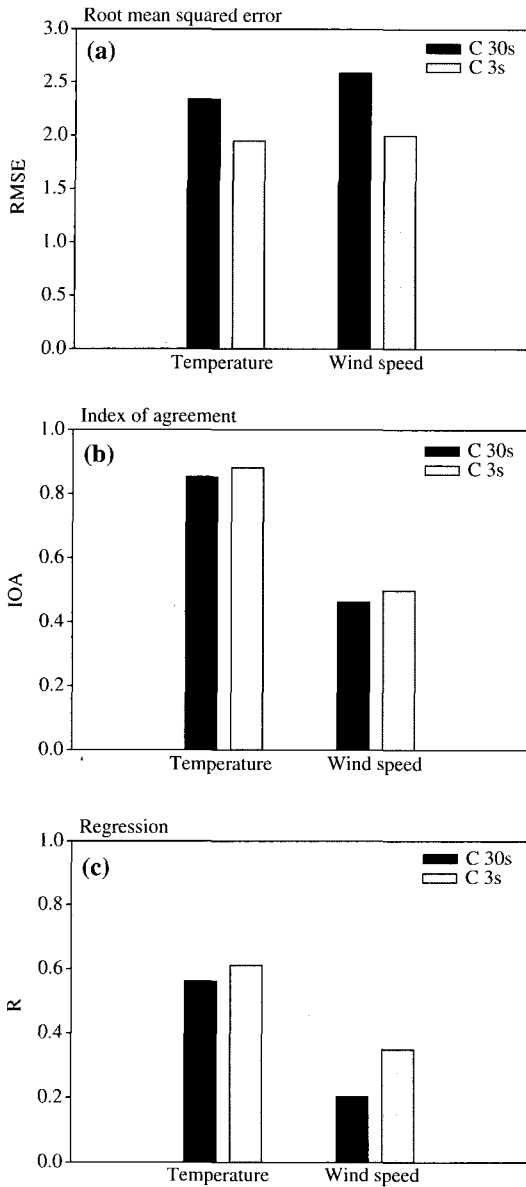


Fig. 7. Meteorological factors statistics calculated for experiment in terms of (a) RMSE, (b) Index of Agreement and (c) Regression.

하 R)은 두 변수간의 증가 혹은 감소 등의 상관관계를 나타내는 것으로 0.0~1.0의 값을 가지며 관측값과 예측된 값의 경우에는 양을 값을 가지되 1.0에 가까울수록 예측된 값이 유효함을 나타낸다.

그림 7에서 나타난 통계값들은 수치모의 기간인 3

일동안의 각 지점에 대하여 계산된 통계값들을 실험 별로 평균한 값들이다. 기온과 풍속에 대해 RMSE, IOA, R의 통계지수를 살펴보면 Case 30s에 비해 Case 3s에서 향상되었음을 볼 수 있다. 일최고기온이 2.0~3.0°C 정도 높아지면서 기온의 RMSE가 0.5°C 정도 줄고 동시에 IOA와 R의 값도 Case 3s에서 0.1 정도 향상됨을 보여주고 있다. 과대평가되어오던 풍속에 있어서도 높아진 지형으로 인해 전체적으로 풍속이 줄어들었고 또한 산봉우리와 골을 따라 기류의 정체 및 수렴이 상세히 표현됨으로써 관측값과의 오차가 0.5 m/s 정도 줄었으며 Case 3s의 일치도와 상관도에 있어서도 그 수치가 크게는 0.2 정도의 차이를 보였다.

5. 결론 및 고찰

이 연구에서는 대표적 공업 및 항구 도시인 광양만권을 대상으로 복잡한 지형적 특성을 고려함으로써 모델 하부경계자료 향상을 통한 대기질 모델링의 입력자료로 실제 대기 유동장과 유사한 기상장을 수치모의하기 위하여 환경부에서 제공하는 상세한 지형고도자료를 이용하고자 하였으며 이에 따라 실험이 설계되었다. 연구 대상영역인 광양만권역 내에서는 USGS 30sec와 ME 3sec 사이에는 최고 200 m, 최저 -225 m 정도의 지형고도의 차이를 보였다. 특히, 높고 낮은 봉우리와 산들이 많은 복잡한 해안지역을 가진 광양만권역은 높은 산은 더 높게, 봉우리 사이의 골(valley)과 해안선은 낮고 넓게 표현되어 지형고도가 급변화를 하거나 경사가 급한 지역들이 해안을 따라 표현되므로써 이로 인해 지형적 효과들이 기상장에 나타났다. Case 3s에서 변화된 지형고도로 인해 기온의 일변화가 다양하게 나타났으며 특히 일최고기온이 나타나는 1500 LST에서 Case 30s보다 최대 4.0°C 정도의 차이가 보이면서 관측값과 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 산은 높아지고 골은 깊어져서 해안선을 따라 생긴 급격한 지형고도의 변화로 인해 기온경도가 Case 30s보다 강하게 나타났다. 바람의 경우에도 Case 30s에서 지형을 넘어 불어 들어가고 나왔던 기류들이 높아진 지형으로 인해 우회하거나 또는 수렴하는 현상들이 나타났고 또한 골을 따라 불어 들어가고 나가는 기류들이 상세히 표현되었다.

이로써 Case 30s에 비해 높은 유사성과 일치도를 보이며 실제 대기와 유사한 유동장이 모의되었다. 이러한 연구 결과가 향상된 대기 유동장의 수치모의의 한 방법적인 측면 뿐 아니라 대기질 모델링의 입력 자료의 이용에도 긍정적인 효과를 미침으로써 대도시와 공단지역의 대기환경 유해물질에 확산 예측 및 장기적 대기환경 대책마련에도 긍정적인 기여를 할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- 김영성, 오현선(2000) 여수지역 대기확산의 수치모사 -I. 지형의 영향, 한국대기환경학회지, 16(3), 211-223
- 류찬수, 신유미, 이순환(2004) 해안지형 복잡성이 중규모순환장에 미치는 영향에 관한 수치모의, 한국기상학회지, 40(1), 71-86
- 이순환, 이화운, 김유근(2002) 복잡지형에서 도시화에 따른 대기오염확산에 관한 시뮬레이션, 한국대기환경학회지, 18(2), 67-83
- Carvalho, J.C., D. Anfossi, S.T. Castelli, and G.A. Degraziad (2002) Application of a model system for the study of transport and diffusion in complex terrain to the TRACT experiment, Atmos. Environ., 36, 1147-1161
- Dudhia, J. (1996) A multi-layer soil temperature model for MM5, The Sixth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, 22-24, July 1996, Boulder, Colorado, 49-50.
- Grell, G.A., J. Dudhia, and D.R. Stauffer(1994) A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR technical Note TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO.
- Hong, S.-Y. and H.-L. Pan (1996) Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, Mon. Wea. Rev., 124, 2322-2339
- Jacobson, M.Z. (1999) Effects of Soil Moisture on temperatures, winds, and pollutant concentrations in Los Angeles, Amer. Meteor. Soc., 38, 607-616
- Jazcilevich, A.D., A.R. Garcia, and L. Gerardo Ruis-Suarz (2002) A modeling study of air pollution modulation through land-use change in the valley of Mexico, Atmos. Environ., 36, 2297-2307
- Kusaka, H., F. Kimura, H. Hirakuchi, and M. Mizutori (2000) the effect of land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo metropolitan area, J. Meteor. Soc. Japan, 78(4), 405-420
- Kondo, H. and K. Gambo (1979) The effect of the mixing layer on the sea breeze circulation and the diffusion of pollutants associated with land-sea breeze, J. Meteor. Soc. Japan., 57 (6), 560-575
- Lalas, D.P., V.R. Veirs, G. Karras, and G. Kallos (1982) An analysis of the SO₂ concentration levels in Athens Greece, Atmos. Environ., 16(3), 531-544
- Liu, S.C., M. Trainer, F.C. Fehsenfeld, D.D. Parrish, E.J. Williams, D.W. Fahey, G. Huber, and P.C. Murphy (1987) Ozone production in the rural troposphere and implications for regional ozone distributions, J. Geophys. Res., 92, 4191-4207
- Mlawer, E.J., S.J. Taubman, P.D. Brown, M.J. Iacono, and S.A. Clough (1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere : RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, J. Geophys. Res., 102 (D14), 1663-1682.
- McKendry, I.G. (1993) Ground-level ozone in Montreal, Canada, Atmos. Environ., 27B(1), 93-103
- National Center for Atmospheric Research (NCAR) (2003) PSU/NCAR Mesoscale Modeling System, Tutorial class notes and user's guide: MM5 modeling system version 3
- Reisner, J., R.J. Rasmussen, and R.T. Bruintjes (1998) Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 124B, 1071-1107
- Willmott, C.J. (1982) Some comments on the evaluation of model performance, Bull. Amer. Meteor. Soc., 63, 1309-1313.