

복잡한 해안지역에서의 지상 관측 자료를 이용한 대기 유동장 수치모의

Numerical Simulation of Atmospheric Flow Fields Using Surface Observational Data in the Complex Coastal Regions

이 화 운 · 원 혜 영* · 최 현 정

부산대학교 대기과학과

(2004년 6월 23일 접수, 2004년 9월 23일 채택)

Hwa Woon Lee, Hye Young Won* and Hyun-Jung Choi

Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

(Received 23 June 2004, accepted 23 September 2004)

Abstract

A critical component of air pollution modeling is the representation of meteorological fields within a model domain, since an accurate air quality simulation requires an accurate portrayal of the three-dimensional wind fields.

The present study investigated data assimilation using surface observational data in the complex coastal regions to simulate an accurate meteorological fields. Surface observational data were categorized into three groups (Near coastal region, Far coastal region 1, Far coastal region 2) by the locations where the data are. Experiments were designed and MM5 was used in each case of regions. Case 1 is an experiment without data assimilation, Case N is executed with data assimilation using observational data by meteorological stations and AWS data located in the near coastal region, within 1 km. Case F1 is also an experiment with data assimilation using observational data by meteorological stations and AWS data located in the far coastal region 1, more than 1 km and less than 5 km from the coastal lines. Case F2 is applied to data assimilation using observational data by meteorological stations and AWS data located in the far coastal region 2, beyond 5 km from the coastal lines.

The result of this study indicated that data assimilation using data in the far coastal region 1 and 2 provided an attractive method for generating accurate meteorological fields, especially in the complex coastal regions.

Key words : Data assimilation, MM5, Surface observational data, Complex coastal regions

1. 서 론

연안에 위치한 공단지역 및 대도시지역에서 배출

된 대기오염물질들의 이류 및 확산에 대한 연구들이 많이 이루어짐에 따라 대기질 모델링의 입력 자료로서 기상장 모델링에 관한 연구도 함께 이루어지고 있다(Pielke and Uliasz, 1998). 이런 경우의 대기 오염 문제는 다량 및 다종의 오염물질의 배출과 그 지

* Corresponding author

Tel : +82-(0)51-583-2651, E-mail : comet909@hanmail.net

역의 기후 특성 그리고 지형에 영향을 받는다(오은주, 1995). 이 중에서도 대기 오염은 배출된 오염물질들의 난류 확산 및 수송, 화학 반응, 침적 현상 등에 의해 결정되므로, 이들을 지배하는 기상인자들에 대한 정확한 이해는 대기오염현상을 파악하고 이에 대한 대기 오염 규제 대책을 세우기 위한 필수 요소라고 할 수 있다(Mckendry, 1993; Liu *et al.*, 1987; Lalas *et al.*, 1982).

이 연구 대상 지역인 광양만권은 전남 동부의 연안부에 위치하여 약 80만 명의 인구나 약 18만대의 자동차 및 여수 산단, 순천 공단, 광양 산단, 광양제철소 등에서 많은 대기오염 물질이 배출되고 있으며, 울촌 공단과 여수 산단의 확장을 비롯하여 광양컨테이너 부두 등이 신·증설되고 있다. 그래서 이 지역은 지금까지 대기오염에 대한 인식과 적절한 관리에도 불구하고 장기간 오염물질이 누적되어 공단지역의 대기환경과 지역주민들의 생활에 영향을 미치고 있다. 또한, 앞으로 공단 확장과 울촌 공단이 가동될 경우 이보다 더 많은 오염물질이 배출될 것으로 예측되고 있고, 이에 따른 대기환경오염, 광화학반응에 의한 오존발생, 휘발성 유기화합물(VOCs) 등의 악취유발물질 및 유해가스의 복합적인 환경문제가 발생할 것으로 예상되고 있어 이 지역에 대한 상세격자에서의 기상장 수치모의가 필요한 현실이다. 하지만 광양만권과 같이 복잡한 연안 지역에서의 대기 흐름의 경우, 종관장의 영향에 의한 순환계 뿐 만 아니라 연안 및 산악 지역의 지형적 특성으로 해륙풍과 같은 국지순환계까지 표출되기 때문에 국지적 대기 유동장의 수치모의가 어려운 것이 사실이다(이화운 외, 2003).

이 연구에서는 3차원 중규모 모델인 MM5 V3 (PSU/NCAR Mesoscale Meteorological Model Version 3)을 이용하여 기상장을 모의하였고 복잡한 지형에서의 좀 더 상세한 기상장 모의를 하기 위하여 연구 대상 지역 내 위치한 지상 관측 자료를 이용하여 MM5의 객관분석 과정을 통해 경계자료를 만든 후 분석완화(analysis nudging)를 통한 자료동화를 수행하였다. 이는 여러 선행 연구들을 통해 보였듯이, 자료동화의 한 접근방법으로서 시·공간적으로 고르지 못하게 분포하는 관측값을 격자화 된 값으로 내삽하여 모델의 초기값을 향상시킨다(Stauffer and Seaman, 1994; Stauffer *et al.*, 1991; Stauffer and Seaman, 1990).

2. MM5 수치 모델링

2.1 모델링 영역 및 격자 구조

MM5는 중규모 기상 모델로서 미국의 기상연구소(National Center for Atmospheric Research)와 펜실베이니아 주립대학이 공동 개발한 후 지속적으로 개선되어 온 모델로서, 본 모델은 지형을 따르는 σ -좌표계로 쓰인 비정수(Non-hydrostatic)방정식계를 사용하며 Arakawa B 격자망으로 구성되어 있다(Grell *et al.*, 1994).

이 연구의 수치모의 기간동안에는 한반도 전역에 걸쳐 약한 기압경도력일 보이는 가운데 종관장이 약해 광양만권역의 국지 순환장의 모의가 가능한 날 중 2002년 6월 3일 0900 LST~5일 0900 LST까지 2일을 선정하여 총 48시간 수치모의를 하였으며 그림 1은 모델링 계산 영역을 나타내고 있다. 동지격자 기법을 도입하여 수평적으로는 30, 10, 3.3, 1.1 km로 구성되었으며, 연직으로는 33개의 층으로 구성되었다. 각 격자수 및 모델링에 사용된 물리적 과정은 표 1에 나타내었다.

Table 1. The configuration of MM5 model.

	Domain 1	Domain 2	Domain 3	Domain 4
Horizontal grid	91 × 91	91 × 91	91 × 91	52 × 52
Resolution	30 km	10 km	3.3 km	1.1 km
Vertical grid	33 layers			
Physical option	MRF PBL scheme Grell cumulus scheme Mixed phase scheme RRTM longwave scheme			
Simulation period	2002. 6. 3 0900 LST ~ 6. 5 0900 LST			

2.2 광양만권의 지형지세

마지막 모델링 영역(domain 4)에서 포함하고 있는 광양만권은 해발 200 m 초과 지역이 전체 면적의 48.0%인 235 km² 정도를 차지하고 있으며, 그림 2는 광양만권의 지형 및 지명을 나타내고 있다. 광양시의 전반적인 지형은 소백산맥의 지맥인 백운산(1,218 m)을 필두로 동서로 늘어선 일군의 산들이 구례군과 경계를 이루고 있는 반면에 비봉산(555 m)은 순천시

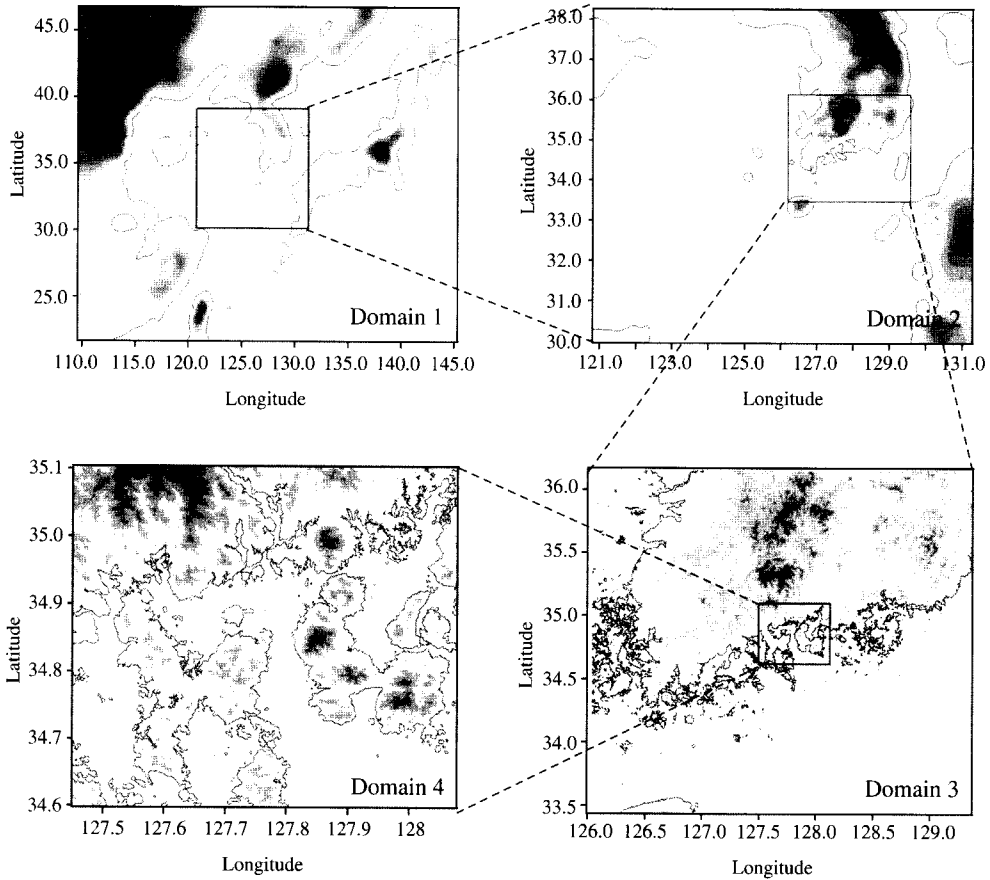


Fig. 1. The domains of calculation for MM5; Each domain includes Korea Peninsula, South Korea, South coastal region and Gwangyang Bay, clockwise.

와 경계를 이루고 있으며 불암산 (431 m), 국사봉 (532 m) 등이 남쪽으로 뺀 급경사의 지맥으로 광양만을 향해 자연스럽게 형성되어 있다. 그래서 모델링 영역의 중심지점인 광양만을 둘러싸고 복잡한 해안선을 낀 “배산임해”형의 지형을 형성하고 있다. 또한 광양만 주위의 남해도에는 망운산 (785 m), 금산 (681 m) 등이 남북으로 늘어서 있다. 이러한 지형으로 인해 종관장의 영향에 의한 순환계 뿐 만 아니라 연안 및 산악 지역의 지형적 특성으로 인한 해륙풍, 산곡풍과 같은 국지 순환계까지 표출되어 기상장 모델링에 있어서 어려움 있다.

2.3 실험설계 및 자료

광양만권에 위치하는 관측소는 기상대 2곳과 자동

무인관측소(AWS) 12개 지점으로 모두 14지점이며 각각의 위치와 그 관측소의 지점번호를 그림 3에 나타내었다. 이들 14개 지상 관측소를 위치에 따라 3가지 그룹으로 나누어 보았다. 이화운 등(2004)에서 복잡한 지형에서의 관측값의 자료동화 시 도심지 내륙에 위치한 관측소들에서 지형과 주위건물에 의한 효과가 과대하게 나타나 이들이 중규모 모델링에 있어 종관적인 패턴에 큰 오류를 보이게 함으로 인해 해양에 가까운 관측값을 사용하는 것이 더 효과적임을 보였다. 이 때, 내륙이라 함은 해안으로 25 km 이상 떨어진 관측소들이었고, 해양이라 함은 해안에서 15 km 이상 떨어진 관측소들이었다. 선행연구에 비추어 볼 때 본 연구의 대상 지역인 광양만권에 위치한 지상 관측소는 모두 해안으로 10 km 내에 위치하여 모

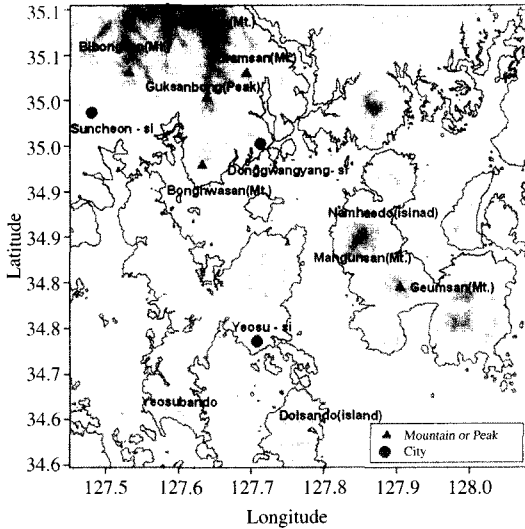


Fig. 2. The terrain map and the geographical names around Gwangyang Bay in domain 4.

두 해안으로 분류할 수 있으나, 본 연구에서는 이를 좀 더 세분하여 3그룹으로 재분류를 해보았다. 먼저 근거리 해안지역 (Near coastal region)은 해안으로부터 1 km 이내를 의미하며 이 지역에 위치한 관측소들로 총 5지점이며 해양과 육지의 경계에 위치한다. 다음으로는 원거리 해안지역 1 (Far coastal region 1)은 해안으로부터 1 km 이상 5 km 이내를 의미하며 이 지역에 위치한 관측소들은 총 4지점이다. 마지막으로 원거리 해안지역 2 (Far coastal region 2)는 해안으로부터 5 km 이상 떨어진 지역을 의미하며 이 지역에 위치한 관측소는 총 5지점이다. 본 연구에서 해안으로부터 가장 멀리 떨어진 지점은 장천(712) 관측소로 8.5 km 정도이다.

이러한 관측소의 위치별 분류를 통해 표 2와 같이 실험설계를 하였다. Case 1은 지상 관측 자료동화 효과를 살펴보기 위한 대조 실험으로 자료동화를 하지 않은 경우이다. Case N은 근거리 해안 지역의 5지점이, Case F1은 원거리 해안지역 1의 4지점이, Case F2는 원거리 해안지역 2의 5지점이 자료동화 시 이용되었다. 이 때, 기상대의 관측 자료의 경우에는 기온, 기압, 이슬점 온도, 풍속, 풍향의 자료가 이용되었고 자동 기상 관측소 자료의 경우에는 기압, 이슬점 온도를 제외한 기상요소가 이용되었다. 먼저 MM5에서

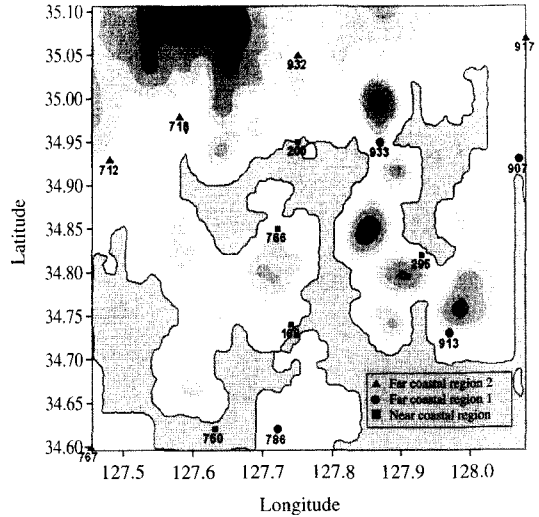


Fig. 3. The location of the surface observational stations in domain 4.

Table 2. Experiment design.

	Stations using objective analysis	
	Near coastal	Far coastal
Case 1	—	—
Case N	Near 5 (■)	—
Case F1	—	Far 1 (4(●))
Case F2	—	Far 2 (5(▲))

NCEP/NCAR 재분석자료를 통해 초기 추정장을 만든 후, 객관분석과정 (Little_r)을 통해 3시간 간격으로 분석장(경계장)을 만들어 이를 사용하여 48시간 적분하였다.

3. 수치모의 결과

3.1 바람장 및 기온장 분석 (Case 1)

2002년 6월 3일 0900 LST~5일 0900 LST까지 총 48시간 수치 모델링의 결과 중 Case 1에 대하여 (a) 4일 1500 LST와 (b) 5일 0600 LST의 기온장을 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a) 4일 1500LST에는 강한 일사에 의해 일중 최고기온이 나타나는 시각으로 최고 기온은 28.5°C를 나타내고 있다. 광양만을 끼고

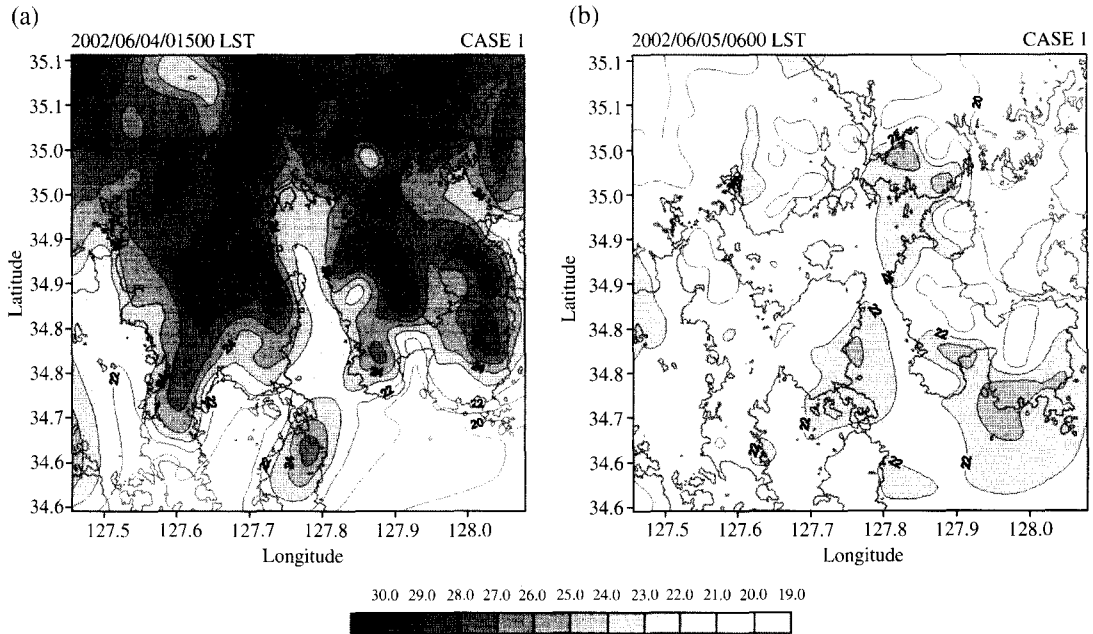


Fig. 4. The horizontal temperature field for domain 4. The filled contour represents horizontal distribution of temperature for Case 1.

광양 산단 및 제철소, 여수 산단, 울촌 공단 등 광양시, 여수시, 순천시에서 각각 고온역이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 여수반도와 남해도, 돌산도에 위치한 높은 봉우리에서 일사에 의한 높은 기온을 나타내고 이에 해안과 육지의 경계부분인 해안선을 따라 높은 기온 경도가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 또한 일반적으로 육지와 해양의 비열의 차이로 인해 낮 동안에는 해양의 기온이 낮으나 광양만과 남해도를 끼고 있는 해안에서는 주위에 위치한 여러 산단 및 공단 등에 의한 열원의 제공과 주위의 높고 낮은 봉우리들로 인한 지형적인 효과로 인해 고온역이 나타나고 있다.

그림 4(b) 5일 0600 LST에는 일중 최저기온이 나타나는 시각으로 최저 기온은 19.2°C를 기록하면서 해륙간의 비열차로 인해 순천 및 사천 등 내륙에서 저온역이 나타난다. 대체적으로 21°C의 기온이 넓게 분포하는 가운데 1500 LST에 비해 작은 온도 경도를 보이고 있다. 남해도의 북부와 남부, 여수시 부근의 해양에서의 기온이 1~2°C 더 높아 약한 기온 경도를 보인다(그림 4).

바람장의 경우는 그림 5에 나타내었으며 그림 4와

마찬가지로 (a) 4일 1500 LST와 (b) 5일 0600 LST를 나타내고 있다. 그림 5(a) 4일 1500 LST에는 전반적으로 남풍계열의 해풍이 광양만으로 불어 들어가고 있는 모습이다. 2.2 광양만의 지형지세에서 언급했듯이 높고 낮은 산과 봉우리들로 인해 지형적인 골(valley)이 생긴 곳이 많아 그 골을 따라 바람이 불어 들어가면서 풍속이 세어지는 곳이 많으며 최대 7.5 m/s 풍속을 기록하고 있다. 특히 여수반도와 남해도 사이의 긴 통로를 통해 강한 바람이 동광양시까지 불어 들어가는 것을 볼 수 있다. 이와 함께 여수반도와 남해도, 돌산도의 해안선을 따라 높은 기온 경도로 인해 내륙으로 강하게 바람이 불어 들어가는 것을 볼 수 있다. 그림 5(b) 5일 0600 LST에는 해풍이 부는 그림 5(a)와 반대로 전반적으로 작은 기온 경도로 인해 풍속이 약해졌으며 북풍계열의 육풍이 우세하게 나타나고 있는 반면, 광양시 부근에서는 그림 4(b)를 통해 보았듯이 기온경도가 작아 광양만에서 북풍계열로 일관하기 보다는 남동풍으로 약하게 불어 들어가서 동광양시 북서쪽에 위치한 ‘ㄱ’자형 백운산의 지형적인 효과로 불어 들어가 순천시 부근

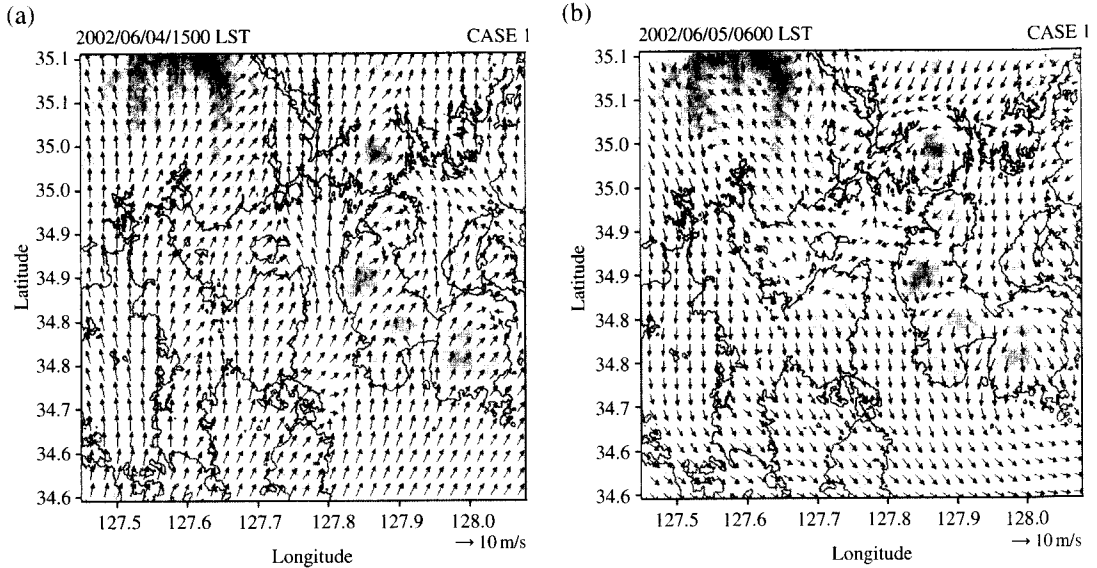


Fig. 5. As the same Fig. 4 , but for wind fields.

의 불어나오는 북서풍계열의 육풍과 함께 돌아 나오 고 있다. 전체적으로 기상장의 일변화 및 지역적 특 성을 잘 모의하고 있다.

3.2 실험별 기온장 및 바람장의 비교

3.2.1 기온장의 비교

2002년 6월 5일 0600 LST에서 각 실험별 기온장 을 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)~(d)는 전반적으 로 해양에서 높은 기온이 나타나는 모습을 보이는 가운데, 각 실험별로 대체적으로 이용된 관측소 부근 의 기온을 낮추거나 고온역을 축소시키는 모습을 보 인다. 이는 대체로 일 최저기온이 나타나는 0600 LST에서 모델이 관측치보다 낮게 모사하는 경향이 나타나는 데 이를 향상시키는 결과이다. 그림 6(a)와 (b)를 비교해 보면 (b)는 근거리 해안지역(Case N) 5 지점의 관측값이 자료동화 되어 여수(168)와 백야 (750)지점은 고온역이 축소되고, 여천(767), 광양(200 - 제철소 AWS), 남해(295)지점에서는 기온이 낮게 나타나고 있다. 하지만 백운산 능선을 따라 Case 1보 다 고온역이 길게 확대되어 동서로 약간의 기온 경 도가 생겼다. 또한 여수시를 지나 남해도 앞바다에 걸친 동서로 뻗은 고온역이 존재하여 약간의 남북으

로 기온 경도가 생겼다.

그림 6(c)는 원거리 해안지역 1(Case F1) 4지점의 관측값이 자료동화 되어진 것으로 상주(913), 삼천포 (907), 금남(933)지점을 포함하는 삼천포 앞바다에 전 반적으로 기온이 1°C 정도 낮아지고, 돌산(786)지점 의 경우는 저온역이 확대되었다. 여기서도 그림 6(b) 와 마찬가지로 백운산의 능선을 따라 그림 6(c)에서 보다 더욱 길게 고온역이 확대되어 약간의 기온 경도 가 생겼으며 여수시를 걸쳐 남해도 앞바다까지 동서 로 고온역이 확대되어 약간의 기온 경도가 생겼다.

그림 6(d)는 원거리 해안지역 2(Case F2) 5지점의 관측값이 자료동화 되어 광양시 부근의 기온이 1°C 정도 낮아지고, 특히 장천(712), 713(광양), 하동 (932), 사천(917)지점이 위치한 광양만의 북쪽 내륙 쪽으로 저온역이 넓게 분포하고 있다. 여기서는 그림 6(b), (c)의 경우와 달리 오히려 백운산 부근의 고온 역이 축소되어 기온 경도가 없는 21°C로 일관하게 나타나고 있으며, 돌산도 앞바다에서도 그림 6(b), (c)와 달리 길게 뻗은 고온역이 깨어진 Case 1과 유사한 양상을 보이고 있다.

3.2.2 바람장의 비교

기온장과 마찬가지로 2002년 6월 5일 0600 LST에

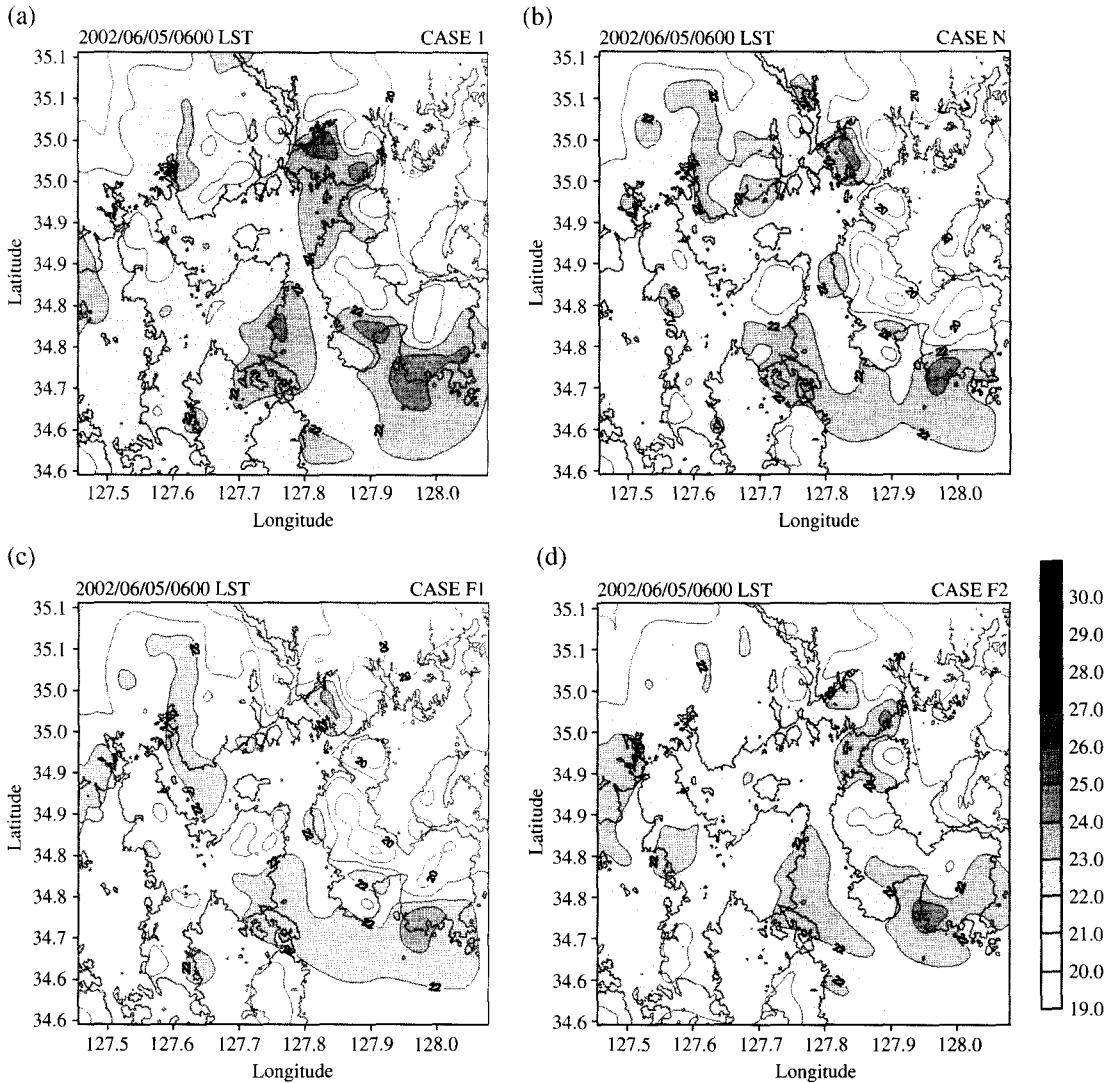


Fig. 6. The horizontal temperature fields at 5 June 0600 LST for (a) Case 1, (b) Case N, (c) Case F1, (d) Case F2.

서 각 실험별 바람장과 그 시각의 관측값을 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 2002년 6월 5일 0600 LST에서 각 관측 지점별 관측된 풍향을 나타내었고 그림 7(b)~(e)는 같은 시각 각 실험별 바람장을 나타내었다.

그림 7(a)를 보면 전반적으로 육지에서 해양으로 바람이 불어 나가는 육풍이 관측되었음을 알 수 있다. 그림 7(b)는 어느 지점의 관측값도 자료동화 되지 않은 Case 1로서, 관측값인 그림 7(a)의 바람을 전반적

으로 모사하고 있는 가운데 백야(750)지점에서 관측값과 상이하게 모사하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 3에서도 보이듯이 모델의 해상도가 상세한 지형을 정확히 표현하지 못한 결과라 사료되어 복잡한 지형과 더불어 모델 계산 영역이 1km 이하의 격자 해상도일 경우 좀 더 상세한 지형자료가 중요함을 보여 준다. 둘산(786)지점에서는 주위의 높은 봉우리들로 인해 넓은 지역을 대표하지 못한 것이라 사료되어 관측값의 질을 보정할 필요성을 보인다(Kim, 2004).

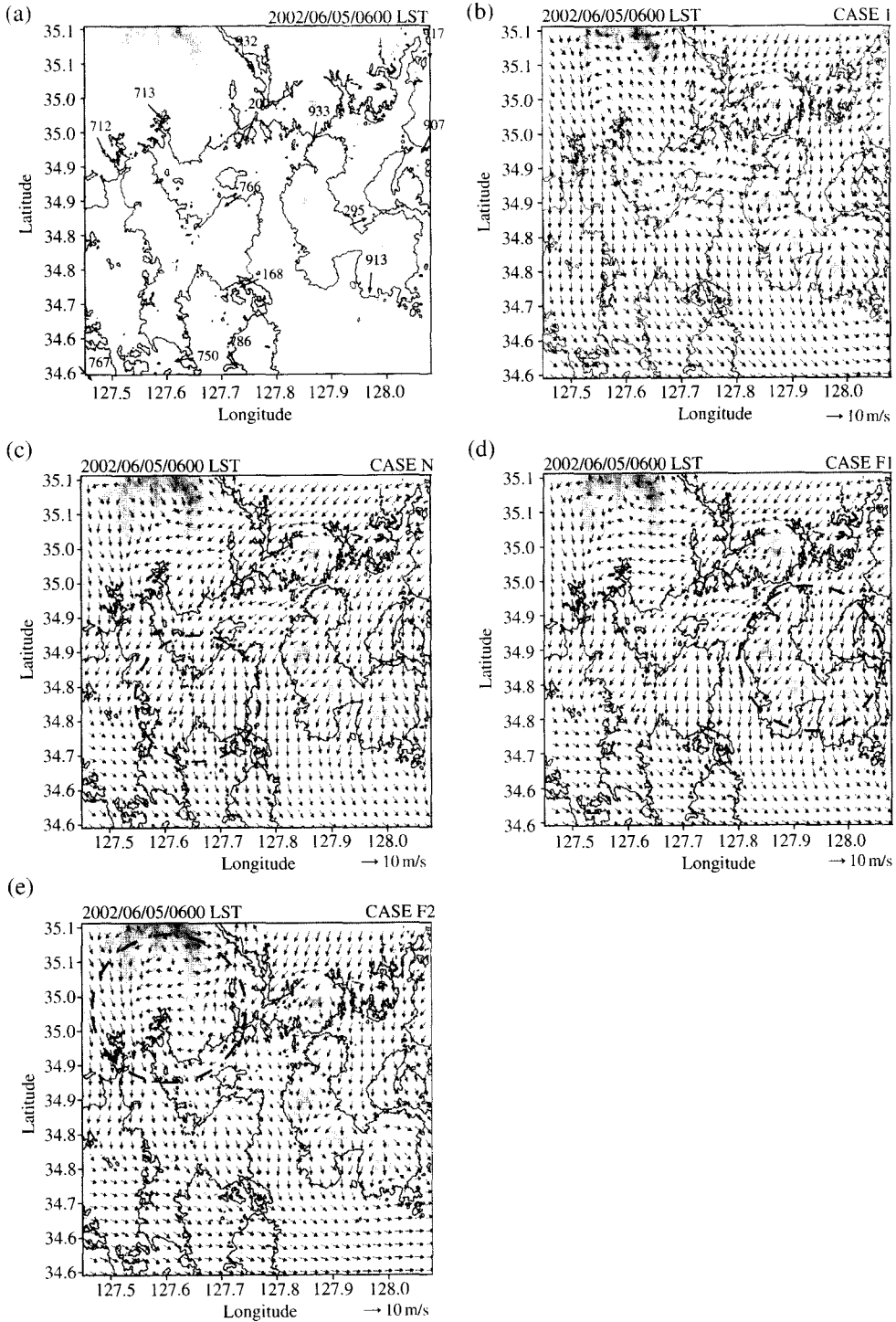


Fig. 7. (a) Vectors represent wind directions at each station at 5 June 0600 LST. The wind fields represent both wind speed and wind direction at the same time for (b) Case 1, (c) Case N, (d) Case F1, (e) Case F2.

이를 토대로 나머지 그림 7(c)~(e)의 바람장을 비교해보면, 그림 7(c)는 근거리 해안지역(Case N) 5지점의 지상 관측 자료동화를 한 경우로서 여수(168), 광양(200-제철소 내 AWS), 여천(766), 백야(750)지점의 북동 및 동풍의 바람이 자료동화 되어 Case 1의 광양만에서 북풍으로 불어 나오던 바람이 울촌 부근에서 북동풍이 바뀌어 여수반도와 돌산도 사이에서 북서풍으로 돌아 나오고 있다.

그림 7(d)는 원거리 해안지역 1(Case F1) 4지점의 지상 관측 자료동화를 한 경우로 삼천포(907), 상주(913), 금남(933)지점의 북서풍이 자료동화 되어 남해를 끼고 있는 삼천포 앞바다에서 북풍이었던 풍계가 북서풍으로 바뀌어 남해를 빠져나가고 있다.

그림 7(e)는 원거리 해안지역 2(Case F2) 5지점의 지상 관측 자료동화를 한 경우로 장천(712), 광양(713), 하동(932)에서내륙에서 북서풍으로 불어 나오는 시각에도 불구하고 광양시를 지나 백운산 바로 밑까지 남동풍으로 불어 들어가던 바람이 Case F2에서는 광양시 앞에서 돌아 순천시에서 북서풍으로 불어 나오는 바람 함께 광양만 및 순천만으로 빠져 나오고 있다. 이와 같이 각 실험에서 사용되는 관측 자료들의 자료동화 시 그 효과들이 각각의 그림에 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 그림 7(c)와 (d)에서는 앞서 기온장에서 언급했듯이 백운산 능선을 따라 생긴 고온역과 함께 기온 정도로 인한 경도류로 해안으로 북풍계의 육풍으로 해안을 벗어 나려다 동풍의 계열로 바뀌어 산을 넘어가는 것을 볼 수 있다. 그리고 남해도 앞바다에서 동서로 뻗은 고온역과 함께 남북의 약한 경사도에 의해 북풍으로 내려오던 육풍이 돌산도 남부까지 내려오다 순천시에서 남해 반도를 돌아 나오던 북서풍의 육풍과 함께 북서풍으로 빠지는 풍계를 보이고 있다. 하지만 그림 7(e)의 경우는 앞서 기온장에서 살펴본 바와 같이 백운산의 능선을 따라 길게 뻗은 고온역이 소산되어 기온의 경도가 사라져 오히려 지형적인 효과로 백운산에서 내려오는 북서풍계의 산풍과 함께 능선을 따라 북쪽으로 불어 들어가는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 7(c)와 (d)와 달리, 깨어진 고온역으로 인해 두 기온대의 경도가 서서히 약해지면서 북풍의 육풍이 불어나가는 통로가 되어 여수반도 뒤를 돌아 나오는 북서풍과 함께 여수시 앞바다에서 벌써 북서

풍으로 풍향이 바뀌어 불어나가는 모습을 보인다.

3.3 각 실험별 시계열 분석

14개 지점 중 각 지역별(근거리 해안지역, 원거리 해안지역 1, 2) 한 지점에 대하여 기온과 풍속 시계열을 그려서 그림 8에 나타내었다. 이들 3 지점은 근거리 해안지역에 광양(200-제철소 내 AWS)지점, 원거리 해안지역 1에 상주지점, 원거리 해안지역 2에 하동지점이다. 전체적으로 기온과 풍속 모두 6월 4일 오후부터 실험별 결과의 차이를 보인다.

광양(200)지점 기온의 경우 전반적으로 모든 실험이 일변화를 잘 모의하는 가운데 6월 5일 일출 후의 높아지는 기온에 대하여 다른 실험보다는 Case F2가 더 잘 따라가고 있으며, Case N보다는 Case F1이 더 나은 결과를 보이고 있다. 풍속에 있어서는 낮 동안의 풍속을 과대평가하고 있는 결과를 보이고 있으며, 이는 근거리 해안지역 5지점 중 4지점에서 모두 나타나는 결과로 해안과 육지의 경계 부분에 위치하여 모델 내 사용되어 지는 물리 과정들의 갑작스런 변화 및 복잡한 지형의 효과로 인한 결과이다. 이러한 가운데 6월 5일의 결과를 보면 실험들 중 Case F2는 관측값과 유사한 일변화 결과를 보이고 있으며 Case 1과 Case N은 반대의 일변화를 보이고 있다.

상주(913)지점 기온의 경우 관측값과 함께 일변화를 보이고 있는 가운데 6월 4일 0000 LST에서 0300 LST사이에 기온이 상승하고 있다. 상주(913)지점 외에 남해도로 둘러싸인 삼천포 앞바다 근처에 위치한 다른 지점인 남해(295)와 금남(933)에서 이와 같은 결과를 보이고 있으며 또한 삼천포(907), 사천(917)지점의 경우는 6월 3일 2100 LST~4일 0300 LST기온의 차가 거의 없으며 21°C 이상을 유지하고 있다. 이는 낮 동안의 주위 공단 및 주거단지 지역에서 남풍 및 남서풍의 해륙풍에 의해 이루어 오던 열(heat)이 야간이 되면서 갑작스럽게 줄어드는 풍속에 의해 남해도의 높고 낮은 봉우리들로 둘러싸인 이 지역에 축적되고 이러한 현상을 모델에서 과대 모사하여 야간에 다른 지역과 2~3°C 높은 고온역을 형성하고 있다. 6월 4일 0900 LST이후 시계열을 보면, Case F2가 관측값과 가까운 결과를 보이고 있다. 풍속의 경우 6월 4일 오후가 되면서 각 실험별 결과 차이를 나타내고 있는데 기온과 마찬가지로 Case F2가 관측값의 일변화와 함께 관측값과 가까운 결과를 보이고 있으며, Case F1

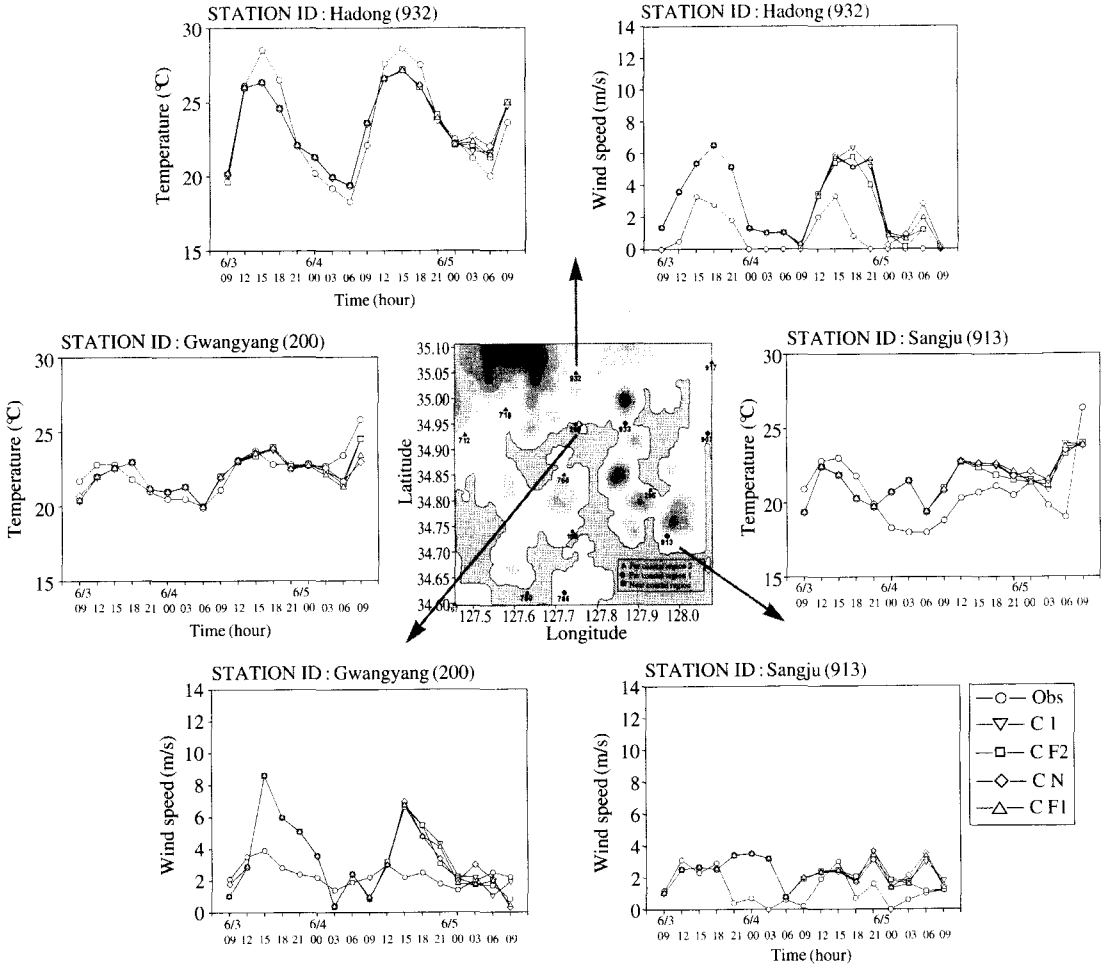


Fig. 8. Time series of temperature and wind speed for a surface station at Gwangyang, Sangju and Hadong. Observations are shown as open circles. Predicted temperature and wind speed are shown as open inverted triangles (Case 1), open quadrangles (Case F2), open diamond-shapes (Case N) and open triangles, respectively (Case F1).

도 Case N보다 관측값에 가까운 결과를 보이고 있다.

하동 (932)지점 기온의 경우, 관측값의 일변화를 가장 잘 모의하고 있으며 Case F2가 좀 더 관측값에 가깝게 따라가고 있다. 풍속의 경우는 Case N보다는 Case F1이 관측값과 가깝게 모의되고 있으며 Case F2 또한 유사한 결과를 보이고 있다(그림 8).

3.4 통계적 검증

4개의 설계된 실험의 결과들을 지점별 관측값과의

통계적 평가를 하기 위해 Willimott (1982)에서 보였듯이 각 관측소 지점별로 모델 수행 기간이었던 2002년 6월 3일 0900 LST ~ 5일 0900 LST 동안 RMSE (Root-Mean-Square Error)와 IOA (Index Of Agreement)를 계산해 보았고, 이에 더하여 R (Regression)도 함께 계산하여 그림 9에 나타내었다. RMSE는 관측값과 계산값과의 차이를 의미하므로 그 값이 0에 가까울수록 계산값이 관측값과 유사함을 의미하고, IOA는 R은 관측값과 계산값과의 유의함을 의미하므로 1에 가까울수록 관측값과 유사함이 큰 의

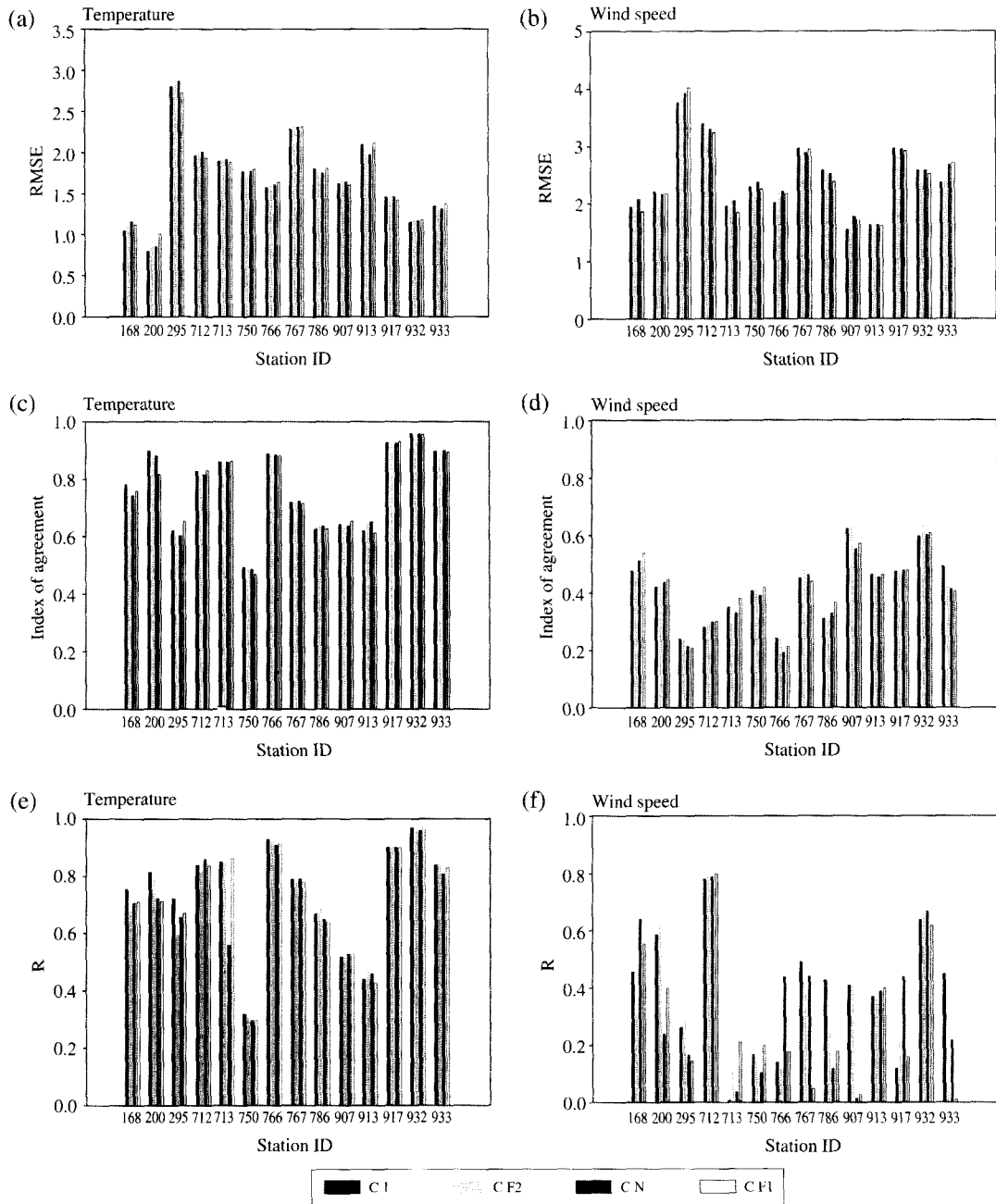


Fig. 9. Temperature statistics calculated for 14 surface stations in terms of (a) RMSE, (c) IOA and (e) R . Wind speed statistics done in terms of (b) RMSE, (d) IOA and (f) R.

미한다.
먼저, 관측소별 통계값들을 살펴보면 원거리 해안

지역 2 (Far coastal region 2)에 위치한 관측소에서 RMSE는 낮게 IOA와 R은 높게 나타나는 경향이 보

이다. 이는 해안가 근처에 위치한(근거리 해안지역) 관측소의 자료들은 변동량이 크고, 모델 해상도의 한계성으로 인해 복잡지형을 정확히 묘사하지 못하며, 더불어 주위의 높고 낮은 지형으로 인해 관측값이 충분히 그 지역을 넓게 대표하지 못하여 모델에서 모의함 있어 어려움에 의한 것이다.

다음으로 각 실험별 살펴보면 기온의 경우 RMSE는 14개 지점중 6지점에서 Case F2가 낮게 계산되었고, Case F1은 6지점에서 낮게 계산되었다. 또한 IOA의 값은 14개 지점중 7지점에서 0.8 이상의 높은 값을 보였으며, 여기서도 마찬가지로 Case F2는 6지점, Case F1은 6지점에서 다른 실험과 달리 높은 값을 보였다. 또한 R의 값도 전체 14개 지점중 6지점에 0.8 이상의 높은 값을 보였으며, 여기서는 실험별 통계값의 차이가 두드러져 Case F2가 관측값과 유사하게 모의하고 있음을 더욱 확연히 나타내고 있다. Case F2는 6지점, Case F1은 6지점으로 나타났다. 한편, 모든 실험에서 백야(750)지점의 경우 IOA와 R 등 통계값이 작으며 오히려 관측 자료동화를 하지 않은 Case 1에서 좀 더 나은 결과를 보이기도 하는데, 이는 앞에서 언급했듯이 마지막 계산 영역에서의 모델의 해상도가 실제 지형을 정확히 반영하지 못해 백야(750)지점이 모델 내에서 해양 위에 위치하여 같은 분류군 내의 다른 지점과 두드러지게 낮은 통계값을 보이는 것으로 사료되므로 앞으로 상세한 지형자료를 이용한 모델링이 함께 이루어져야 할 것이다.

풍속의 경우는 기온에 비해 그 결과를 뚜렷이 나타낸다. RMSE의 값은 Case F2는 9지점, Case F1은 4지점으로 Case N에 비해 좋은 결과를 보이고 있다. IOA의 값도 Case F2 9지점, Case F1은 4지점으로 위와 같은 결과를 보였다. R의 값은 Case F2가 4지점이며 Case N보다 높은 값을 가지는 곳은 7지점이며, Case F1도 4지점이나 Case N보다 높은 값을 가지는 곳은 7지점이다. 전체적으로 Case N의 경우 보다는 Case F2의 경우와 Case F1의 경우에 RMSE는 그 값이 작고 IOA와 R은 큰 경향을 보인다.

4. 요약 및 결론

이 연구에서는 광양만권에 존재하는 지상 관측소

의 위치에 따라 크게 3지역(근거리 해안지역, 원거리 해안지역 1, 원거리 해안지역 2)으로 분류하였고, 이에 따라 자료동화 시 사용되어지는 지상 관측 자료를 달리하여 4개의 실험을 설계한 후 중규모 기상모델인 MM5를 이용하여 수치모의를 하였으며, 그 결과를 통계적 수치를 통해 검증해 보았다. 사용되어지는 지상 관측 자료의 위치에 따라 다른 결과를 보이고 있음을 결과를 통해 확인할 수 있었다. 해안에 인접한 곳인 근거리 해안지역에 위치한 관측값을 사용하기 보다는 좀 더 해안에서 떨어진 원거리 해안지역 1과 2에 위치한 관측값을 사용하는 것이 관측값과의 유사성이 높은 수치모의 결과를 얻었다. 이는 이화운 외(2004)에서 도출한 도심지 내륙에 위치한 관측값의 사용 시 건물효과 및 거칠기 길이가 큰 요인으로 인해 관측값의 대표성이 떨어지므로 해양에 가까운 자료를 사용하는 것이 더 효과적이라는 결론에 상이한 듯 하나, 이 연구에서 분류된 원거리 해안지역 1, 2는 선행연구의 분류기준으로 볼 때 모두 해안지역에 포함되는 지역이어서 선행연구에 상응할 뿐더러, 해안지역에 대한 한층 더 구체적인 분류를 함으로써 해안에서 1 km 이내 인접한 지역의 관측 자료의 사용은 오히려 좋지 못한 수치모의 결과를 가져올 수 있음을 알 수 있었다. 이는 해양과 육지간의 경계부분에 속하는 근거리 해안지역의 자료는 갑작스런 지표면의 상태 변화와 특히 광양만권역의 경우와 같이 해안가와 함께 많은 봉우리로 인해 경사가 급한 해안가를 형성하고 있어 이에 따른 그 지역에 대한 자료의 대표성이 낮아 더욱 그러한 결과를 보인다. 또한 모델의 해상도와 관련하여 특히나 복잡한 해안지역을 대상으로 모델링을 할 경우 상세한 지형 자료가 중요함을 보여주는 결과이기도 하다.

이와 더불어 사용되어지는 관측값의 질이 모의 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 본 연구와 더불어 관측요소(기온, 풍속, 풍향 등)별 양질의 자료를 선별할 수 있도록 자료의 질 조절(Quality Control)에 관한 연구(Kim, 2004)가 필요할 것으로 생각되며 향후 이를 수행할 계획이다.

이상의 연구의 결과는 지상 관측 자료의 자료동화를 통해 상세한 대기 유동장을 얻고자 할 때, 복잡한 해안지역의 자료동화 시 사용되어지는 관측 자료의 선별(Quality Control)부분에 있어서 중요한 자료를 제시할 것으로 사료되며, 또한 대기질 모델링의 입력

자료서의 정확한 대기 유동장을 산출함에 있어 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 오은주(1995) Mesoscale에서의 대기유동과 확산에 관한 simulation, 부산대학교 대학원 석사학위논문
- 이화운, 정우식, 임현호, 김현구(2003) 여천공단을 포함한 광양만 지역에 대한 기상장 분석의 필요성 한국환경과학회 봄학술대회 요지집, 166-167
- 이화운, 최현정, 이순환, 정우식, 임현호, 이강열(2004) 경제 조건과 물리과정변화가 도시규모 대기유동장에 미치는 영향에 관한 수치연구, 한국기상학회 봄학술대회 요지집, 188-189
- 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.
- Kim H.S. (2004) The study for effects of asynoptic data assimilation on diffusion prediction of air pollutants in regions of complex terrain, Pusan National University, Master of Science.
- Lalas, D.P., V.R. Veris, G. Karra, and G. Kallos (1982) An analysis of the SO₂ concentration Athenes, 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. Geophysic. Res., 92, 4191-4207.
- McKendry, I.G.(1993) Ground-level ozone in Montreal, Canada, Atmos. Environ, 27B(1), 93-103.
- Pielke, R.A. and M. Uliasz (1998) Use of Meteorology Models as Input to Regional and Mesoscale Air Quality Models-Limitations and Strengths, Atmos. Environ., 32, 1455-1466.
- Stuffer, D.R. and N.L. Seaman (1990) Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: Experiments with synoptic data. Mon. Wea. Rev., 118, 1250-1277.
- Stuffer, D.R., N.L. Seaman, and F.S. Binkowski (1991) Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model Part II: Effects of data assimilation within the planetary boundary layer. Mon. Wea. Rev., 119, 734-754.
- Stuffer, D.R. and N.L. Seaman (1994) Multiscale four-dimensional data assimilation, J. Appl. Meter., 33, 416-426.
- Willmott, C.J.(1982) Some comments on the evaluation of model performance, Bulletin of the American Meteorological Society, 63, 1309-1313.