

## 복잡 연안지역의 지표면 자료 상세화에 따른 수치 기상장 분석

### Analysis of Numerical Meteorological Fields due to the Detailed Surface Data in Complex Coastal Area

이화운 · 전원배\* · 이순환<sup>1)</sup> · 최현정

부산대학교 지구환경시스템학부, <sup>1)</sup>부산대학교 BK21 연안환경시스템사업단

(2008년 7월 25일 접수, 2008년 12월 2일 채택)

Hwa Woon Lee, Won-Bae Jeon\*, Soon-Hwan Lee<sup>1)</sup>  
and Hyun-Jung Choi

*Division of Earth Environmental System, Pusan National University,  
Busan, Korea*

<sup>1)</sup>*BK21 Coastal Environment System School, Pusan National University,  
Busan, Korea*

(Received 25 July 2008, accepted 2 December 2008)

#### Abstract

The impact of the detailed surface data on regional meteorological fields in complex coastal area is studied using RAMS. Resolutions of topography and land use data are very important to numerical modeling, because high resolution data can reflect correct terrain height and detail characteristics of the surface. Especially, in complex coastal region such as Gwangyang area, southern area in Korean Peninsula, high resolution topography and land use data are indispensable for accurate modeling results. This study investigated the effect of resolutions of terrain data using SRTM with 3 second resolution topography and KLU with 1 second resolution land use data. Case HR was the experiment using high resolution data, whereas Case LR used low resolution data. In Case HR, computed surface temperature was higher than Case LR along the coastline and wind speed was 1~2 m/s weaker than Case LR. Time series of temperature and wind speed indicated great agreement with the observation data. Moreover, Case HR indicated outstanding results on statistical analysis such as regression, root mean square error, index of agreement.

**Key words** : Coastal region, RAMS, High resolution, Topography, Land use

#### 1. 서 론

대기의 흐름을 지배하는 요인은 종관기상장, 대기

안정도, 지표면 에너지 분포 등 다양하며 특히, 국지적인 대기유동장은 지형 강제력과 밀접하게 관계하기 때문에 정확한 흐름의 예측이 쉽지 않다. 지형 강제력에 의한 기류의 강제 상승은 국지적인 강수형태에 영향을 주며, 이러한 열역학적인 변화는 중규모

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)51-583-2651, E-mail : zzz0519@nate.com

기류예측의 오차를 발생시키는 요인으로 작용하기도 한다(이순환 등, 2006; 이등규 등, 1993; 홍성유와 이등규, 1992). 이순환과 박광순(2006)은 제주도를 대상으로 한라산의 풍하측에서 발달하는 대기유동장의 연직 속도가 하층구름의 형성과 밀접하게 관계함을 보였으며, 이은희 등(2003)은 한반도 남서해상으로 접근하는 태풍이 지형에 의하여 강화되는 사례를 제시하고 종관적인 기상현상과 지형은 매우 밀접하게 관계하고 있음을 밝힌 바 있다. 또한 Lee and Kimura (2001)는 수치실험을 통해 지형 강제력은 매우 직접적으로 나타나는데 비하여 토지이용도 차이에 따른 순환장은 오히려 늦은 시간에 간접적으로 나타나는 경향이 있음을 보였다. 한편, 상세 지형자료와 토지이용자료의 이용에 따른 대기 유동장 개선효과를 살펴보기 위하여 최현정 등(2007)은 수도권 지역의 상세 토지이용 자료를 이용하여 지표면의 거칠기 변화가 대기 유동장에 미치는 영향을 파악하였고 이화운 등(2005)은 상세 지형고도자료 사용에 따른 기상장 변화경향을 살펴보았으며, Miao *et al.* (2003)은 지형과 토지이용의 변화가 연안지역의 해륙풍 순환 강도에 영향을 준다는 것을 수치실험을 통하여 나타냈다. 또한 Trier *et al.* (2004)은 상세 토지이용도 자료를 이용하여 상세 수분 상태 자료가 대기의 연직 대류에 영향을 미치고, 대기경계층의 발달과도 관련이 있음을

보였으며, Lam *et al.* (2006)은 복잡한 지형을 대상으로 토지피복자료의 카테고리를 세분화하여 그에 따른 기상장의 변화를 살펴보았다.

이러한 대부분의 고해상도 지형 및 지표면 토지이용자료에 관한 연구는 주로 내륙 지형의 굴곡에 따른 영향을 살펴보고, 지형의 굴곡이 중규모 대기 유동장에 직접적인 영향을 미친다고 결론을 내리고 있다. 그러나 한반도와 같은 복잡한 연안지역에서 지형 및 토지이용자료의 해상도 변화는 수치연구에 사용되는 연안 해안선의 형태 변화에 상당한 영향을 미치고 있음에도 불구하고 이러한 지형 및 토지이용자료의 해상도에 따른 연안지역 해안선 및 도서지역의 형태 변화에 관한 연구는 부족한 실정이다. 특히, 해안선의 굴곡이 심하고 많은 섬들이 위치해 있는 지역의 경우에는 모델에서 기본적으로 제공되는 낮은 해상도의 지형 및 토지이용자료를 사용하게 되면 지형고도를 낮게 반영하거나 실제로는 육지인 지역을 바다로 표현하는 등 상세 지형의 묘사에 한계가 있기 때문에 더욱더 정밀한 지형 및 토지이용자료가 필요하다. 이에 본 연구에서는 상세한 해안선의 정보가 절실히 요구되는 남해안의 광양만권역을 중심으로 지형 및 토지이용자료의 해상도에 따른 연안지역의 해안선 변화 양상을 살펴보고, 이들 해안선의 지형 및 토지이용도 변화가 중규모 대기유동장에 미치

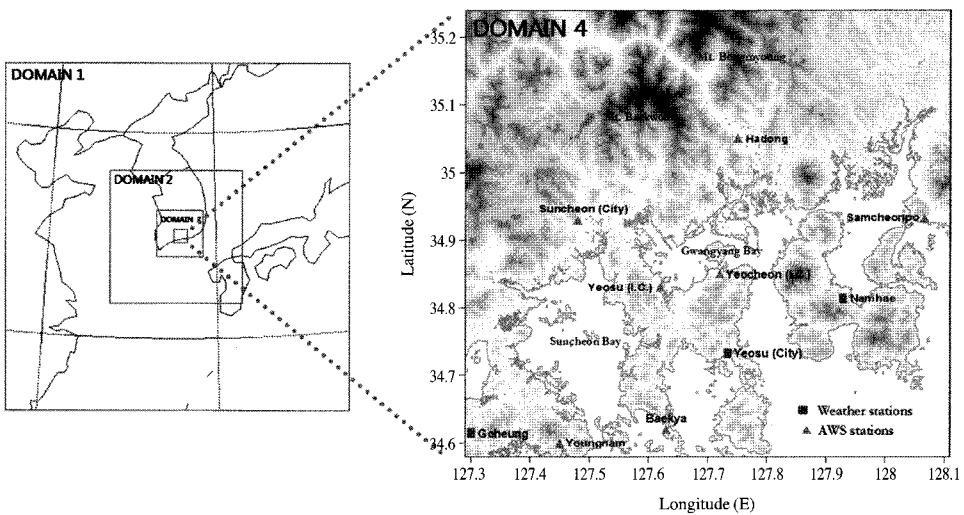


Fig. 1. The coarse and nested grid domains used in this study: The inset figure in the right panel shows the observational stations (three weather stations and seven AWS stations) in Gwangyang area.

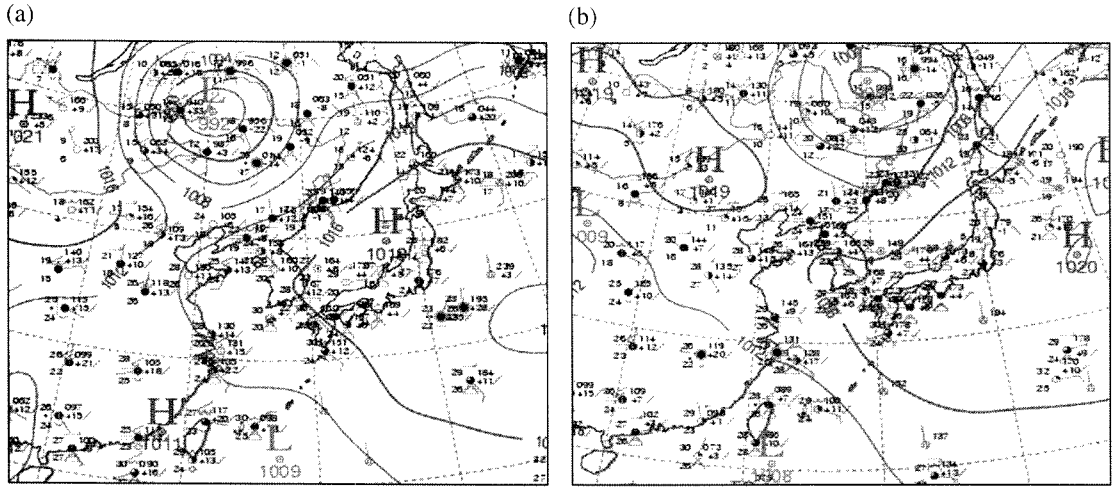


Fig. 2. Surface weather chart at (a) 0900LST 24 August 2007 and (b) 0900LST 25 August 2007.

는 영향을 수치실험을 통하여 고찰하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상지역

본 연구는 복잡한 해안선으로 인해 다양한 국지기상이 표출될 가능성이 있는 광양만을 연구대상으로 설정하였다. 광양만 권역은 그림 1에 나타난 바와 같이 전라남도 동부 연안에 위치하고 있으며 산지 및 강과 바다를 포함하는 매우 복합적인 지형을 가지고 있다. 북쪽으로는 소백산맥 지류인 1,215 m 높이의 백운산을 중심으로 낮은 산들이 동서로 늘어 있으며 남서쪽으로는 순천만을 사이에 두고 여수반도와 고흥반도가 자리 잡고 있다. 여수반도 오른쪽에 위치한 광양만과 여수만을 경계로 남해도가 자리 잡고 있고 돌산도, 소리도, 나로도와 같은 크고 작은 섬들이 여기저기에 분포하고 있는데 특히, 최근 광양만 일대에 생겨난 매립지들로 인해 해안선의 형태가 매우 복잡하다. 이러한 복잡한 지형적 특징에 의해 이 지역의 풍계는 매우 국지적으로 나타나며 특히, 해륙풍과 산곡풍 또는 지형에 의한 미세기류의 영향으로 바람의 이류와 확산의 양상이 매우 다양하게 나타나는 특징을 지니고 있다.

이러한 지역적 특수성을 고려하여 본 연구에서는 종관장의 영향이 최소화되고 국지적인 풍계가 탁월하게 나타나는 2007년 8월 24일부터 26일을 연구

Table 1. Configurations of RAMS.

Horizontal grid	56 × 56/90 × 90/118 × 118/158 × 158
Resolution	32 km/8 km/2 km/0.5 km
Vertical layers	33 Layers
Physical option	Mellor-Yamada turbulence parameterization Kuo cumulus parameterization Mahrer-Pielke radiation parameterization
Initial data	NCEP/NCAR Reanalysis data (CDAS)
Time period	2007.08.24 0900LST ~ 2007.08.26 0900LST

Table 2. Description of RAMS numerical experiment.

		Case HR	Case LR
Terrain data	Topography	SRTM 3 sec	USGS 30 sec
	Land use	KLU 1 sec	USGS 30 sec
Land use description (%)	Ocean and Rivers	24.4	34.3
	Short grass	15.7	2.9
	Mixed woodland	—	31.2
	Crop/mixed farming	3.5	1.1
	Irrigated crop	—	20.6
	Wooded grassland	51.9	9.6
Urban and built up	1.5	0.2	

대상일로 설정하였다. 그림 2는 연구 대상일인 8월 24일과 25일 0900LST의 기상일기도를 나타낸 것이다. 24일의 일기도를 보면 한반도 전체가 확장된 북태평양 고기압의 연변에 위치하여 매우 맑은 날씨를 유지하고 있으며, 25일의 경우 약한 저기압이 한반도 북부지역을 통과하지만 광양만이 위치하는 남부지역

은 고기압이 유지되면서 맑은 날씨가 계속되고 있다. 그리고 광양만 일대에 위치한 광양, 여수공단, 남해, 여천공단 관측소의 평균 일 최고기온이 33°C 이상으로 나타나서 8월 중 최고를 기록했다. 이러한 고기압하의 풍계는 중관적인 바람이 억제되며, 해륙풍 및 산곡풍과 같은 국지적인 풍계가 나타나기 쉬운 기상환경을 제공한다.

### 2.2 모델 설정

수치모의에 사용된 모델은 RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) 6.0으로서 미국 콜로라도

주립대학에서 개발되어 다양한 기상현상을 규명하는데 사용되는 3차원 기상모델이다. 이 모형은 비정상형 지배방정식을 기초로 제작되었으며, 연직 지형 준거 좌표계를 기준으로 격자가 형성된다. 수평 좌표계는 Arakawa-C 격자 구조로 중규모 및 국지규모의 기상현상 해석에 매우 유리하며 현재 브라질, 홍콩 등의 정규 기상예측 모델로 사용되고 있다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 총 4개의 동지격자를 이용하여 수치실험을 실시하였으며 초기 입력장으로는 National Center for Environmental Protection (NCEP)/National Center for Atmospheric Research

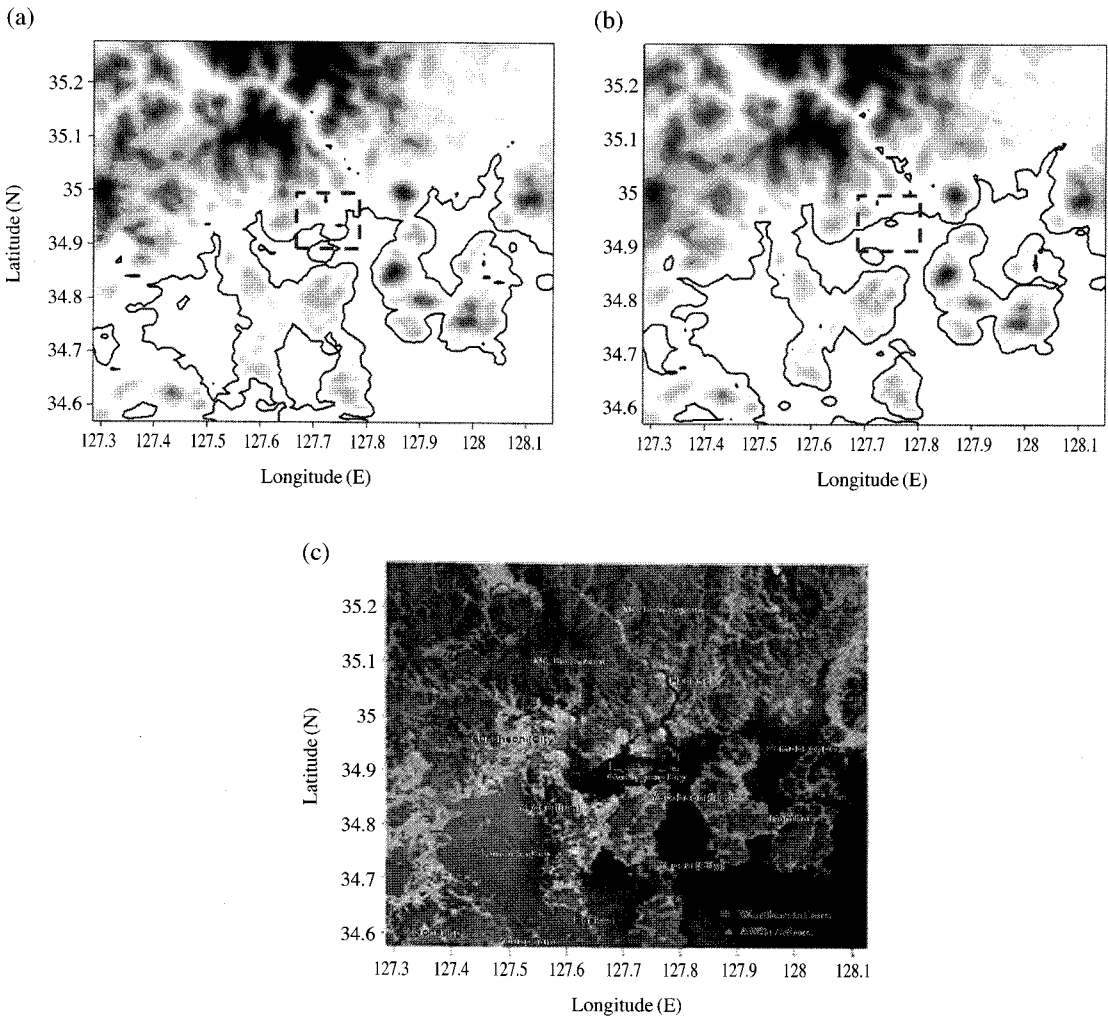


Fig. 3. Computed topography ((a) Case HR, (b) Case LR) and satellite image ((c) Google maps) of the fine domain.

(NCAR)의 Climate Data Assimilation System (CDAS) 자료를 사용하였다. 수치 적분시간은 2007년 8월 24일 0900LST부터 2007년 8월 26일 0900LST까지 총 48시간이며, 상세 모델 설정은 표 1과 같다.

### 2.3 자료 및 실험 설계

RAMS에 포함된 지형 및 토지이용 자료의 해상도는 1도, 30분, 10분, 5분, 2분, 30초의 6단계로 구성되어 있으며 최대 30초, 약 1km의 공간해상도로 지형을 표현한다. 하지만 광양만 권역의 복잡한 해안선을 표현하기에는 부족함이 많기 때문에 본 연구에서는 미항공우주국에서 제공하는 3초 지형자료인 Shuttle Radar Topography Mission (이하 SRTM) 3초와 환경부에서 제공하는 1초 토지이용 자료인 Korea Land Use (이하 KLU) 1초를 사용하여 상세한 해안선의 형태를 표현하였다. SRTM 3초 자료는 미항공우주국에서 2000년 수행된 SRTM에 의해 제작된 Digital Elevation Model (DEM) 형식의 고해상도 지형자료로서 1도의 영역이 1,200개의 격자로 표현되기 때문에 United States Geological Survey (이하 USGS) 30초 자료보다 10배 높은 해상도를 가진다. 또한 USGS의 자료보다 최근에 만들어졌기 때문에 매립지 등에 의한 지형변화가 반영되어 있어 훨씬 더 상세한 지형

의 표현이 가능하다. 그리고 KLU 1초 자료는 환경부에서 Landsat TM 위성영상과 SPOT 위성영상의 합성을 통해 제작한 대분류 토지이용자료로서 시가화/건축지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역의 7개 분류 항목으로 구성된 1초 해상도의 자료이다. USGS의 토지이용자료에 비해 30배 높은 해상도를 가지고 있기 때문에 지형에 따른 토지이용의 차이를 상세하게 표현할 수 있다.

표 2는 본 연구의 실험내용을 나타낸 것인데 복잡한 해안지역에서 지표면 자료 즉, 지형자료와 토지이용자료의 해상도 차이가 연안 바람장에 미치는 영향을 보기 위하여 2가지의 서로 다른 실험을 실시하였다. 먼저 RAMS에서 제공하는 상대적으로 저해상도의 자료를 이용한 경우(이하 Case LR)와 SRTM과 KLU의 고해상도 자료를 적용하여 수치실험을 한 경우(이하 Case HR)로 구분하였다. 기타 기상 초기치 및 경계자료는 동일하게 적용하였다.

### 3. 수치모의 결과

#### 3.1 해상도에 따른 지형 및 토지이용분포의 차이 분석

그림 3은 수치모의 결과 중 최종 도메인의 해상도

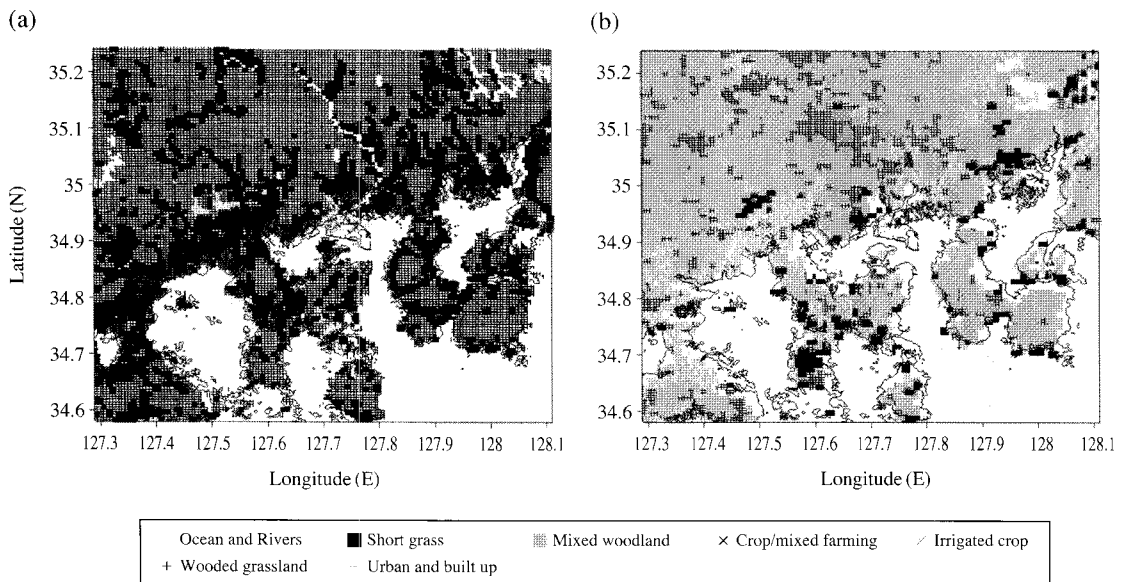


Fig. 4. The land use of the fine domain which is derived from RAMS for (a) Case HR and (b) Case LR.

인 500 m로 표현된 광양만 권역의 지형도와 실제의 지형도를 함께 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 SRTM 3 초 지형고도 자료와 KLU 1초 토지이용자료를 사용한 Case HR의 결과이며 그림 3(b)는 USGS 30초 지형고도 및 토지이용자료를 이용한 Case LR의 결과인데 객관적인 비교를 위해서 구글맵스(Google, 2008)에서 제공하는 실제 지형도를 그림 3(c)에 함께 나타내었다.

그림 3(b)의 경우 실제 지형인 그림 3(c)에 비해 해안선의 굴곡이 뚜렷하지 않고 단조롭게 표현되고 있으며, 육지의 경우 그 차이가 크지는 않으나 섬진강 등을 따라 발달한 계곡에서 미세한 차이를 볼 수

있다. 반면, 그림 3(a)의 경우 고해상도의 지형고도 및 토지이용자료의 사용으로 Case LR에서는 표현되지 못한 매립지나 섬들의 형태가 표현되었고, 이로 인해 실제 지형도와 거의 흡사한 모습을 보이고 있다. 특히, 직사각형으로 표현된 광양제철소의 경우 매우 큰 면적을 차지함에도 불구하고 그림 3(b)에서는 전혀 표현되지 않고 있다. 이러한 지형적인 차이는 풍향과 관련된 열적 관성류의 분포에 영향을 주며 (Atkinson, 1981), 복잡지형의 경우 특히, 지형경사의 차이에 따른 복사의 불균등한 분포가 바람장 형태의 다양성에 가장 큰 요인이 된다. 따라서 이러한 지형의 차이는 마찰속도와 현열 플럭스 등의 난류특성변

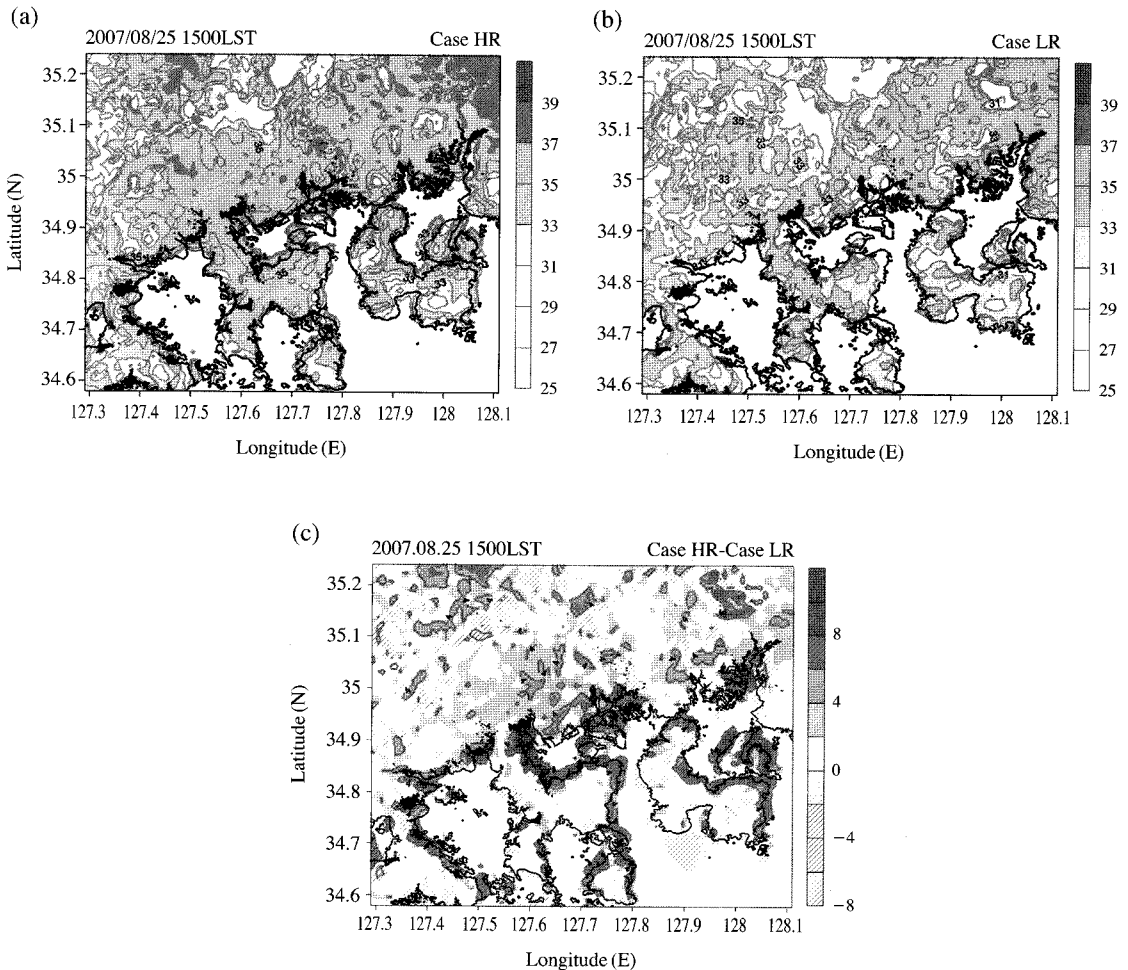


Fig. 5. The horizontal temperature fields for (a) Case HR, (b) Case LR and (c) Case HR-Case LR at 1500LST on 25 August 2007.

수들에 영향을 미치게 되며 결과적으로는 국지규모 대기유동장의 변화에 있어 중요한 요소가 될 것으로 사료된다.

그림 4는 각각 Case HR과 Case LR의 토지이용분포를 나타낸 것이다. 그리고 그림내의 실선은 내륙과 해양의 구분을 명확히 하기 위해서 실제의 해안선을 표현한 것이다. 먼저 Case LR의 경우를 살펴보면 실제로는 육지 입에도 불구하고 토지이용이 바다로 표현되는 부분이 해안선을 따라 나타나고 있으며, 전체적인 해안선의 형태도 실제와 많은 차이를 보이고 있다. 이는 토지이용자료의 해상도가 낮기 때문에 실제 수치모형에서는 평균화된 값을 가지게 됨으로써

나타나는 결과인데, 이러한 차이는 특히 해안선을 따라 크게 나타나는 경향이 있다. 반면 Case HR의 경우, 상세한 토지이용자료의 사용으로 인해 Case LR에 비해 해안선의 굴곡이 뚜렷하게 드러나고 특히, 광양제철소의 매립지와 강의 형태가 표현됨으로써 훨씬 더 실제와 가까운 토지이용분포를 나타낼 수 있다. 그리고 내륙에서도 역시 상세한 토지이용분포가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 토지이용분포의 차이는 알bedo, 수분함량, 거칠기 등과 같은 지표면의 속성 변화를 의미하며 이는 지표면의 반사율, 열용량, 운동 플럭스 등의 변화를 유발하여 국지기상의 차이를 유도할 것으로 사료된다.

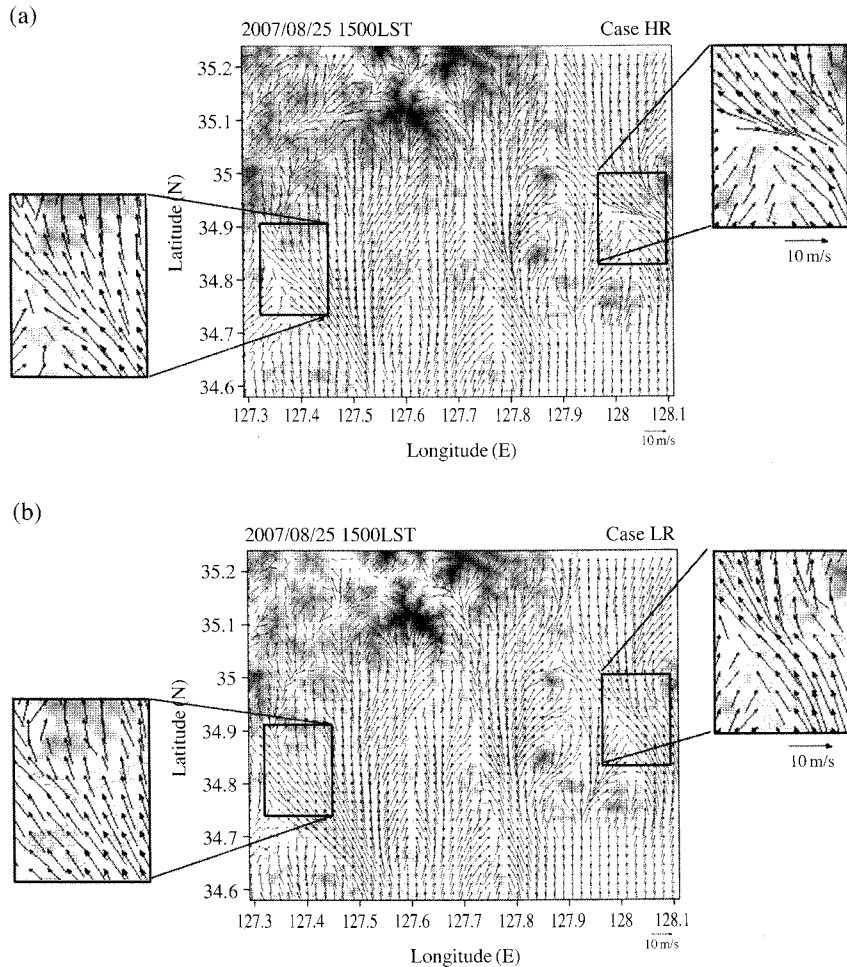


Fig. 6. The horizontal wind fields for (a) Case HR and (b) Case LR at 1500LST on 25 August 2007.

### 3. 2 국지 기상장 변화 분석

그림 5(a)와 그림 5(b)는 2007년 8월 25일 1500LST의 실험별 수평 온도장 분포를 나타낸 것이며 그림 5(c)는 Case HR과 Case LR의 온도 차이를 나타낸 것이다. Case HR의 결과인 그림 5(a)를 보면 내륙 지역의 경우 전체적으로 31°C 이상의 고온역을 나타내고 있으며, 백운산과 봉명산을 중심으로 한 산지 지형과 여수 국가산업단지, 광양제철소 등의 공단지역 주변으로 33°C 이상의 높은 기온이 나타나고 있다. 또한 육지와 해양의 비열차이에 의해서 해안선을 따라 기온경도가 강하게 나타나고 있으며 해상 및 내륙의 강 지역을 중심으로 저온역이 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

한편, Case LR의 결과인 그림 5(b)를 보면 그림 5(a)와 마찬가지로 내륙 지역을 중심으로 30°C 이상의 고온역이 나타나고 있는 가운데, 전체적으로 Case HR에 비해 고온역이 적게 나타나고 있다. 또한 산 정상부를 중심으로 기온이 Case HR에 비해 1~2°C 가량 낮게 나타나는데, 이는 입력되는 수치지형자료의 해상도 차이에 따른 것이다. 즉, 지형해상도가 낮은 수치자료를 이용한 Case LR에 비하여 높은 해상도의 수치자료를 이용한 Case HR에서 산악정상의 고도는 높게 나타나고 반대로 골짜기의 고도는 낮게 표현된다. 그러므로 동일한 일사에 의하여 테워진 지표면의 온도가 같다고 하더라도, Case HR이 산악의 고도를 높게 표현하기 때문에 지표면 부근에서의 대기 온도는 Case LR에 비하여 높게 나타난다. 한편, 해안선 부근에서의 온도 분포를 보면 Case HR에서는 해안선을 따라 위치하던 고온역의 면적이 Case LR에서는 눈에 띄게 감소하였으며 해안선 안쪽으로 저온역이 확대되어 나타나고 있음을 볼 수 있다. 특히, 매립지의 경우에는 육지로 표현되지 못하여 바다와 같은 온도 분포를 보이고 있음을 알 수 있는데 이는 두 실험의 차이를 나타낸 그림 5(c)에서 더욱더 뚜렷하게 확인할 수 있다.

그림 5(c)에서 보면, 매립지를 포함한 해안선상의 특정 지역에서 약 8.0°C의 양의 값이 분포하고 있으며 그 최대값은 10.4°C로 나타났다. 이는 Case HR이 Case LR에 비해 특정 영역의 주간 온도를 더 높게 모의하고 있으며 이러한 양의 값의 분포가 해안선을 따라 나타나고 있음을 볼 때 이 영역이 Case HR에서는 육지로 표현되는 반면, Case LR에서는 바다로

표현됨을 유추해 볼 수 있다. 즉, Case LR의 경우 낮은 해상도의 지형 및 토지이용자료 사용으로 인해 복잡한 해안선의 형태가 적절히 표현되지 못하여 해안 지역의 지표면 특성을 잘 반영하지 못한 반면, Case HR의 경우 고해상도의 지형 및 토지이용자료를 사용함으로써 대상 지역의 복잡한 해안선의 형태와 지표면이 실제 특성에 맞게 표현되었고 그 결과 해안 지역의 온도장 분포가 해안선을 따라 적절히 나타나게 되었음을 알 수 있다.

수평 온도장과 마찬가지로 수치모의 된 수평 바람장을 그림 6에 나타내었고, 그림 6(a)와 그림 6(b)는 각각 8월 25일 1500LST의 Case HR, Case LR에 대한 결과이다. 앞서 살펴본 바와 같이 사례일인 8월 25일은 고기압의 영향 하에서 전체적으로 날씨가 맑았으며 종관장의 영향이 배제된 해륙풍 및 산곡풍 순환의 형태가 뚜렷하게 나타날 수 있는 기상상태였다. 그림 6(a)의 Case HR에 대한 바람장 결과를 보면 남풍계열의 해풍이 지배적으로 나타나고 있는데 해안선을 따라 내륙 쪽으로 불어 들어가는 바람이 골과 골 사이를 통과하며 풍속이 강해지는 곳이 많이 나타나고 있다. 또한 지표면의 비열 차이에 의해 곡풍이 발생되어 백운산을 비롯한 산지 지형을 중심으로 바람이 수렴하는 모습을 볼 수 있는데, 이

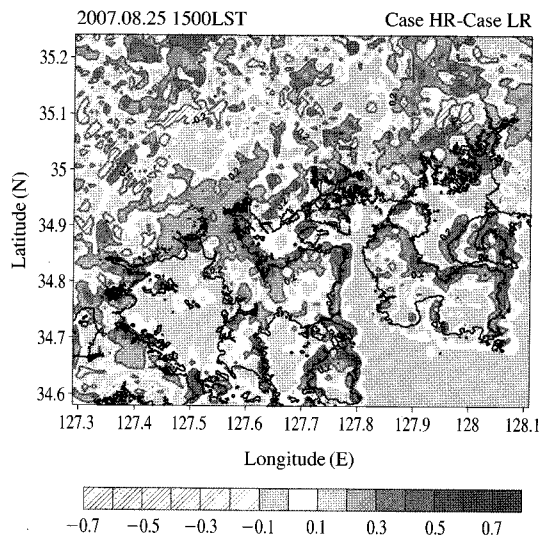


Fig. 7. The difference map of sensible heat flux between Case HR and Case LR at 1500LST on 25 August 2007.



러한 바람이 해풍과 결합하여 5 m/s 이상의 강한 풍속과 함께 매우 복잡한 형태의 풍계가 나타나고 있다. Case LR의 바람장인 그림 6(b) 역시 전체적으로 남풍이 우세하게 나타나는 가운데 내륙 쪽으로 바람이 불어 들어가는 형태를 보이고 있다. 하지만 풍향이 해안선과 나란하게 나타났던 Case HR과는 달리 Case LR에서는 풍계가 해안선을 침투하여 지형과 무관한 형태로 나타나고 있으며, 상대적으로 낮은 해상도로 표현된 지형고도로 인해 골과 골 사이를 통과하는 바람과 산 정상을 향해 수렴하는 곡풍의 형태가 Case HR에 비해 잘 묘사되지 못하고 있음을 볼 수 있다. 그림 8은 Case HR과 Case LR의 바람장 차이에 대한 원인을 분석하고자 수치모의된 현열플럭스 값의 차이를 나타낸 것인데, 현열이 강하게 나타난다는 것은 일사에 의한 열의 상승이 큰 것을 의미한다. 다시 말해 그 지역은 다른 지역에 비해 열적

저기압이 형성되어 바람의 수렴이 유도되며 이는 바람장의 변화에 기여하게 된다. 그림 7을 보면 이러한 현열의 차이가 양의 값을 가지는 지역 즉, Case HR이 Case LR보다 더 높게 나타나는 지역이 해안선을 따라 분포하고 있음을 볼 수 있는데 이는 앞서 살펴본 온도장의 차이와 유사한 패턴을 보인다.

### 3.3 관측자료 비교

수평장 분석을 통해 온도 및 바람장이 지형과 토지이용자료의 차이에 의해 주로 해안선 부근에서 다르게 됨을 알 수 있었는데, 정확한 정량 분석을 위하여 관측값과 모델값 간의 온도 및 풍속시계열을 비교해 보았다. 비교 대상 지점은 광양만권역 내에 위치한 유인 기상대 및 기상관측소중 여수반도와 남해도의 해안선을 따라 위치하고 있는 여수공단, 여천공단, 남해기상관측소와 여수기상대 지점을 포함하여

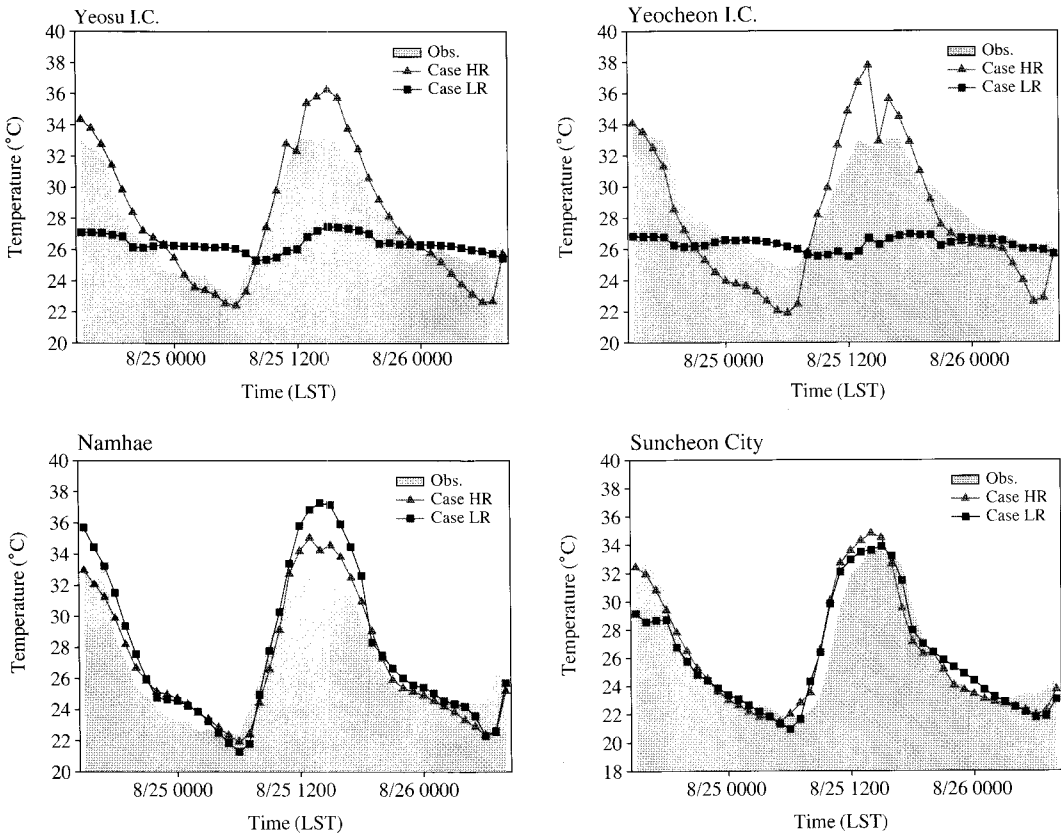


Fig. 8. Diurnal variation of horizontal temperature between modeled and observed value for the surface stations.

해안지역 부근에 위치한 10곳을 선정하였으며, 각 관측지의 위치는 그림 1에 나타내었다.

그림 8은 여수공단, 여천공단, 남해, 순천시 지점에 대한 관측 값과 모델 값의 온도 시계열을 비교하여 나타낸 것으로 전체적으로 Case HR에서 더 높은 일치도를 나타내고 있다. 특히, 여수공단과 여천공단지점의 경우 두 Case의 차이가 현저하게 나타나고 있으며 Case HR에서는 온도의 일변화 패턴이 관측 값과 유사하게 나타나고 있는 반면, Case LR에서는 온도 변화가 거의 없어 관측 값과 많은 차이를 보여주고 있다. 이것은 앞서 온도장 분석에서 살펴보았듯이 여수공단과 여천공단이 Case HR에서는 육지로 적절하게 표현되어 정확한 온도 값이 산출된 반면, Case LR에서는 바다로 표현되어 실제와 차이가 큰 온도 값을 산출해 내었기 때문이다. 한편 해안가에 위치한 남해와 비교적 내륙에 위치한 순천시 지점은 Case

HR과 Case LR 모두에서 육지로 표현되었지만 Case HR의 온도값이 관측치와 더 잘 일치하는 모습을 보여주고 있음을 알 수 있다. 두 지점의 온도시계열을 보면 야간에는 큰 차이가 나타나지 않는 반면, 주간에는 최대 3°C 정도의 차이가 나타나고 있음을 알 수 있는데 이는 두 case에서 각 지점의 지표면 특성 특히, 알베도와 방출율이 달리 표현되어 나타난 결과로 보여 진다. 남해 지점의 경우 Case HR이 Case LR에 비해 반사율과 방출율이 높게 표현되어 일사가 강한 주간시간에 온도가 상대적으로 과소 예측되어 관측치와 유사한 결과를 나타내었다. 반면 순천지점의 경우 Case HR이 Case LR에 비해 반사율과 방출율이 낮게 표현되어 주간 온도 예측된 결과 관측치와 높은 일치도를 나타내었다. 즉, 고해상도 토지이용자료에서는 지표면 열수지 방정식에 사용되는 각 플럭스의 값이 상세하게 표현되

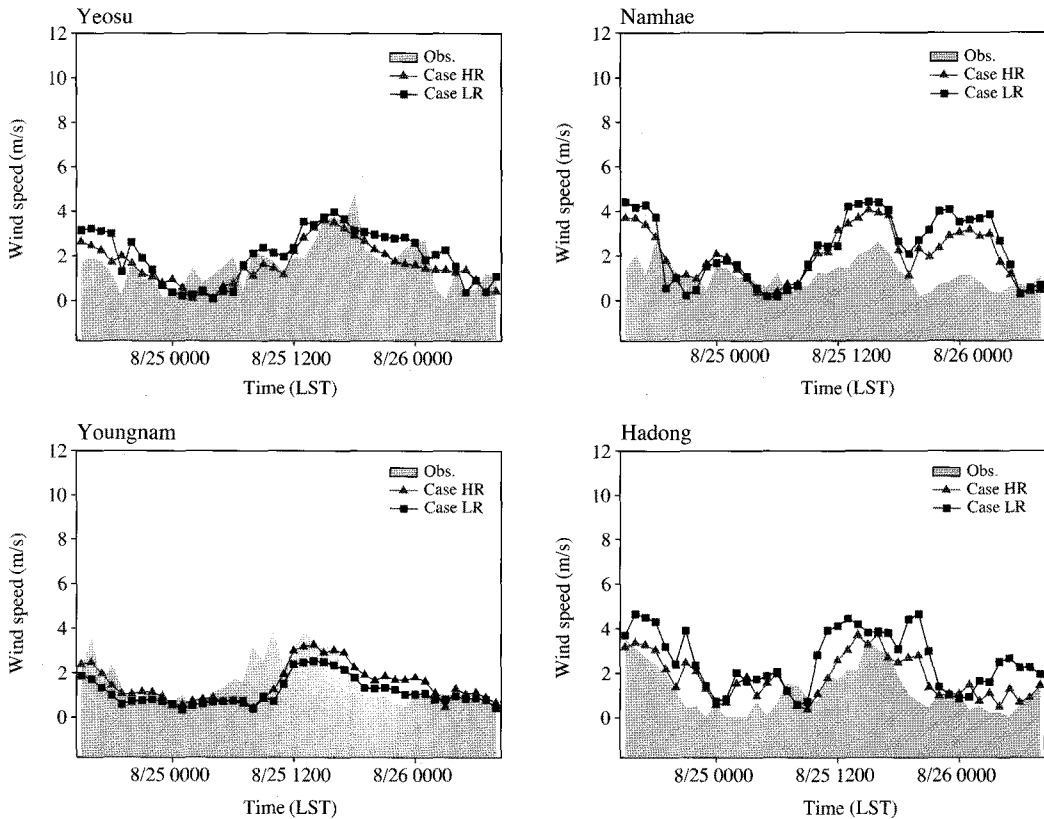


Fig. 9. Same as Fig. 8, but for wind speed.

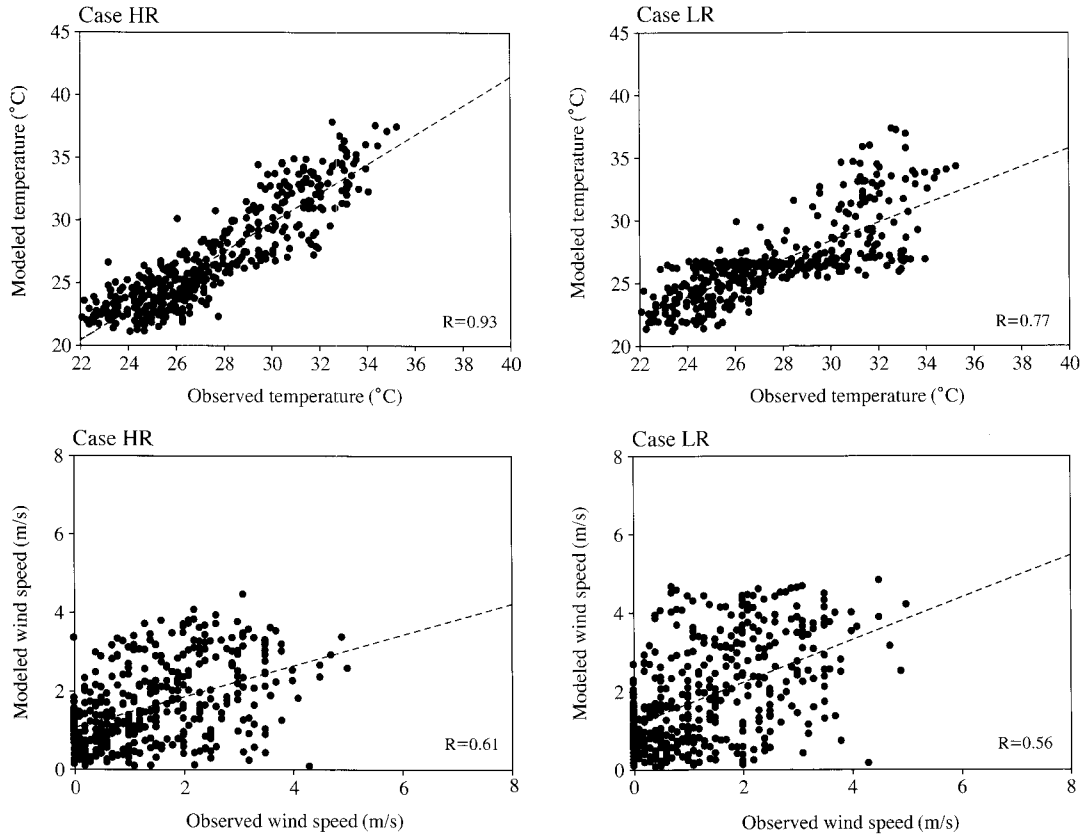


Fig. 10. Correlation of temperature and wind speed between modeled and observed value for Case HR and Case LR. Also shown are correlation coefficients R.

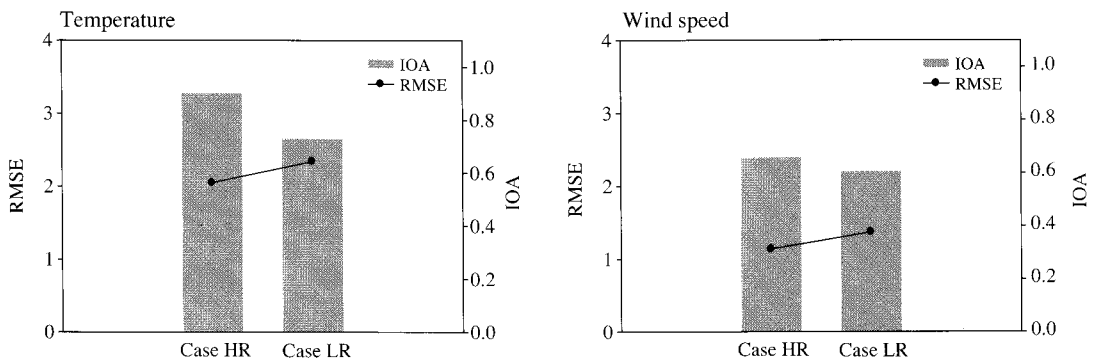


Fig. 11. Evaluated RMSE and IOA between modeled and observed value for horizontal temperature and wind speed.

기 때문에 수치모델에서 계산된 지표면 기온 역시 높은 정확도를 가지고 계산된다고 볼 수 있다.

그림 9는 여수, 남해, 영남, 하동 지점의 풍속 시계열을 나타낸 것인데 온도의 결과와 마찬가지로 전체

적으로 Case HR이 관측치와 높은 일치도를 보여주고 있다. 특히, 전체적으로 과대 예측되고 있는 풍속값이 Case LR에 비해 Case HR에서는 다소 완화된 모습을 볼 수 있는데, 야간에는 큰 차이를 보이지 않았던 풍속값이 주간이 되면서 0.5~2.0 m/s가량 감소하여 관측치와의 정합도가 증가하는 결과를 보였다.

### 3.4 통계적 검증

수치모의 결과의 통계적 분석을 위해 Regression (이하 R), Root Mean Squared Error (이하 RMSE), Index Of Agreement (이하 IOA) 값을 이용하였다. R은 두 변수간의 상관관계를 나타내는 값으로서 0.0~1.0의 범위를 가지며 1.0에 가까울수록 예측된 값이 유효함을 의미한다. RMSE는 실제 관측값과 예측값의 평균적 차이를 나타내는 것으로 그 값이 작을수록 모델의 해석능력이 높은 것을 의미한다. IOA는 실제 관측값과 예측값의 일치도를 나타내는 것으로 0.0~1.0의 범위를 가지며 1.0일 때 두 값이 완벽한 일치도를 보이는 것으로 여겨진다.

그림 10과 그림 11에 나타난 통계치들은 전체 10개의 관측지점에 대한 R, RMSE, IOA값을 실험별로 평균한 것이며 온도와 풍속에 대해서 각각 나타내었다. 우선 R값의 경우 그림 10에서 볼 수 있듯이 Case HR이 Case LR에 비해 관측치와 높은 상관관계를 보이며 온도와 풍속의 R값이 각각 0.2, 0.1 높게 나타났다. RMSE와 IOA값의 분석결과 역시 그림 11에서와 같이 Case HR이 Case LR에 비해 향상된 결과를 나타내었는데 특히, 온도의 경우에 그 차이가 두드러지게 나타났다. 정확한 토지이용분포의 표현에 의해 온도의 일변화 패턴이 잘 모의된 Case HR이 Case LR에 비해 0.3 낮은 RMSE값을 나타내었고 IOA값의 경우 0.2 높게 나타내었다. 전체적으로 과대 예측되었던 풍속의 경우에도 고해상도 자료의 사용으로 인해 지표면의 특성변화가 잘 고려된 Case HR이 Case LR에 비해 0.2 낮은 RMSE값을 나타내었고, IOA값 또한 0.1 높게 나타나 모든 통계치에서 개선된 결과를 보여 주었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 복잡한 해안선의 형태를 가진 광양

만 권역을 대상으로 지형 및 토지이용자료의 해상도 변화가 중규모 대기유동장 변화에 미치는 영향을 수치실험을 통해 알아보았다. 연구 대상영역을 상세하게 표현하고자 고해상도의 SRTM 3초 지형자료와 KLU 1초 토지이용자료를 사용한 결과 실제에 가까운 해안선의 형태가 표현 가능했으며, 기존의 저해상도 자료로는 나타내기 힘들었던 해양매립지의 형태 또한 표현할 수 있었다. 이러한 상세 지형 및 토지이용분포를 반영하여 수평 온도장을 살펴 본 결과 Case LR에서는 바다로 표현되었던 부분이 Case HR에서는 육지로 올바르게 표현되어 해안선을 따라서 온도 차이가 크게 나타남을 확인 하였다. 수평 바람장 역시 Case HR에서는 지형을 따르는 국지적 풍계가 잘 나타난 반면 Case LR에서는 해안선을 침투하여 지형과 무관한 형태가 나타나 지형 및 토지이용자료의 해상도에 따른 차이가 잘 나타났다. 한편, 관측값과의 시계열 비교 결과에서는 온도의 경우 해안 지역을 중심으로 향상된 결과를 확인할 수 있었는데 특히, 여수공단과 여천공단지점의 경우 Case HR에서는 육지로 표현된 반면, Case LR에서는 바다로 표현되어 결과의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 풍속의 경우 전체적으로 과대 예측된 풍속값이 Case HR에서는 다소 완화되었음을 확인할 수 있었고, 통계분석 결과 역시 Case HR이 Case LR에 비해 R, RMSE, IOA값 모두에서 향상된 결과를 보여주었다.

이러한 연구결과는 복잡한 해안선을 가진 지역에서의 상세 대기 유동장 모의 결과의 개선이라는 측면에서 의미가 있었으며, 이는 대기질 모델에 사용되는 기상 입력자료의 질적 향상으로 이어져서 복잡지형에서의 오염물질 수송 및 확산연구에 긍정적인 기여를 할 수 있을 것이라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 지원으로 이루어 졌습니다.

## 참 고 문 헌

이동규, 전종갑, 홍성유, 김홍래 (1993) 1990년 9월 10~12일

- 한반도 중부 지방에 발생한 집중 호우의 수치 모의 실험, 한국기상학회지, 29(2), 147-169.
- 이순환, 박광순 (2006) 해수면 온도변화에 따른 제주도 후면 흐름구조변화에 관한 수치연구, 한국지구과학회지, 27(1), 61-72.
- 이순환, 김선희, 류찬수 (2006) 지형자료 해상도에 따른 대기 유동장 변화에 관한 수치연구, 한국환경과학회지, 15(12), 1141-1154.
- 이은희, 박선기, 장동언 (2003) 태풍순환에 관련된 집중호우에서의 지형효과에 대한 수치 모의-Rusa에 대한 사례 연구, 한국기상학회지, 13(3), 374-375.
- 이화운, 원혜영, 최현정, 이강열 (2005) 복잡한 해안지역에서 상세한 지형고도 자료이용에 따른 대기유동장의 영향에 관한 수치모의, 한국대기환경학회지, 21(2), 179-189.
- 최현정, 이화운, 성경희 (2007) 복잡지형에서의 지표면 거칠기에 따른 오존농도 수치모의, 한국대기환경학회지, 23(4), 430-439.
- 홍성유, 이동규 (1992) 수치 모델을 이용한 한반도 집중 호우의 예측 가능성에 관하여, 한국지구과학회지, 13(3), 391.
- Atkinson, B.W. (1981) Meso-scale atmospheric circulations. Academic Press, London, 495 pp.
- Google (2008) <http://maps.google.com>.
- Lam, J.S.L., A.K.H. Lau, and J.C.J. Fung (2006) Application of refined land-use categories for high resolution mesoscale atmospheric modelling, Boundary-Layer Meteorology, 119(2), 263-288.
- Lee, S.-H. and F. Kimura (2001) Comparative studies in the local circulations induced by land-use and by topography, Boundary-Layer Meteorology, 101(2), 157-182.
- Miao, J.-F., L.J.M. Kroom, J.V.-G. Arellano, and A.A.M. Holtslag (2003) Impact of topography and land degradation on the sea breeze over eastern Spain, Meteorology and Atmospheric Physics, 84(3/4), 157-170.
- Trier, S.-B., F. Chen, and K.W. Manning (2004) A study of convection initiation in a mesoscale model using high-resolution land surface initial conditions, Monthly Weather Review, 123(12), 2954-2976.