

## 복잡 해안지역 해상풍 모의의 정확도 개선- I : 현업모델의 평가

배 주 현 · 김 유 근 · 오 인 보 · 정 주 희 · 권 지 혜 · 서 장 원\*  
부산대학교 대기과학과 · 기상청 해양기상지진연구소  
(2005년 3월 28일 접수; 2005년 7월 8일 채택)

## Improvements in the simulation of sea surface wind over the complex coastal area- I : Assessment of current operational model

Joo-Hyun Bae, Yoo-Keun Kim, In-Bo Oh, Ju-Hee Jeong,  
Ji-Hye Kweon and Jang-Won Seo\*

*Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

*\*Marine Meteorology & Earthquake Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea*

*(Manuscript received 28 March, 2005; accepted 8 July, 2005)*

In this study, we focused on the improvements in the simulation of sea surface wind over the complex coastal area. MM5 model being currently used to predict sea surface wind at Korea Meteorological Administration, was used to verify the accuracy to estimate the local wind field. A case study was performed on clear days with weak wind speed(4 m/s), chosen by the analysis of observations. The model simulations were conducted in the southeastern area of Korea during the selected periods, and observational data such as AWS, buoy and QuikSCAT were used to compare with the calculated wind components to investigate if simulated wind field could follow the tendency of the real atmospheric wind field.

Results showed that current operational model, MM5, does not estimate accurately sea surface wind and the wind over the coastal area. The calculated wind speed was overestimated along the complex coastal regions but it was underestimated in islands and over the sea.

The calculated diurnal changes of wind direction could not follow well the tendency of the observed wind, especially at nighttime. In order to exceed the limitations, data assimilation with high resolution data and more specified geographical information is expected as a next best policy to estimate accurately the environment of local marine wind field.

Key Words : Complex coastal area, Wind field, Sea surface wind, MM5, QuikSCAT

### 1. 서 론

복잡 다양한 해수순환의 역학적인 요인 파악과 그 예측을 위해서는, 해수순환에 영향을 미치는 외적요소 중의 하나이며 파랑의 생성과 그 예측을 위한 근본적인 초기조건이고 폭풍이나 해일의 정확한

예측의 기초 단계인 해상풍의 정량적인 검토분석과 정확한 예측이 이루어져야만 한다.

지금까지 우리나라 주변해역에서의 해상풍과 관련된 연구로는 연안측후소 바람 관측치를 이용하여 스펙트럼 분석을 하거나<sup>1)</sup> 한국 주변해역 및 동중국해 북부 해역에서 10년간의 일기도와 수산진흥원에서 정선 관측한 수온분포로부터 주변해역에서의 해상풍이 동한난류에 미치는 영향 및 난수괴에 미치는 영향 등에 관한 연구를 한 바가 있다<sup>2,3)</sup>. Kang *et al.*<sup>4)</sup>은 3년간의 해상풍을 이용하여 바람응력과 응력

Corresponding Author : Joo-Hyun Bae, Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea  
Phone: +82-51-583-2652  
E-mail: baegop@pusan.ac.kr

컬의 공간분포를 제시하였다. Lie *et al.*<sup>5)</sup>과 Han *et al.*<sup>6)</sup>은 Na *et al.*<sup>1)</sup>의 해상풍 자료를 보강하여 동중국해 전역을 포함하는 한반도 주변해역의 바람장 특성을 분석하였다. 이와 같은 분석을 시작으로, 기존에는 관측치 부족으로 해상풍의 시공간변화 특성 파악이 불가능하였으나, 15년간(1978~1992)의 해상풍, 해면기압 및 해수면온도의 관측치 확보로 인하여 해역에서의 해상풍 특성파악이 가능하게 되었다.

또한 전해진과 안희수는 4계절의 황해와 동중국해에서 바람에 의해 유발된 순환류를 2차원 유압차분 순압모델을 이용하여 살펴보고 이러한 순환에 의한 부유물의 이동을 계산하였으며<sup>7)</sup>, 해류 및 열구조에 미치는 해상풍의 영향을 나정열과 팽동국<sup>2)</sup>이 분석하였다. Sekine<sup>8)</sup>은 바람응력의 계절변화가 대마난류의 분지에 중요한 역할을 한다고 했으며, Na<sup>9,10)</sup>도 울릉도 부근에 주위의 해수보다 고온의 특성을 갖는 난수괴(warm core)가 존재함을 보이면서 바람에 의한 따뜻한 물의 수렴으로 난수괴가 형성될 수 있으며 이 난수괴가 동한 난류의 길잡이역할을 할 수 있음을 제시하였다. 또한 NSCAT에 의한 직접적인 해상풍 관측 자료를 이용하여 해상풍과 한반도 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과의 관계를 연구한 사례도 있었다<sup>11)</sup>.

한반도를 중심으로 한 동아시아 지역 모델링에서 해양은 모델 영역의 반 이상을 차지하고 있기 때문에 해양 관측 자료 사용에 대한 필요성은 자주 언급되어 왔고, 이를 해결하기 위해 시간적 공간적으로 균질하고 광범위한 지역에 자료를 제공할 수 있는 위성 자료가 대안으로 제시되어 왔다. 그러나 위성 자료는 상대적으로 관측 오차가 크기 때문에 사용하는 데는 많은 문제가 있다<sup>12)</sup>.

이처럼 해상풍에 관한 많은 연구와 해상풍 산출을 위한 위성자료에 대한 활용방안이 고찰되어 왔지만, 육지에서부터 불어오는 대기유동장의 흐름이 해수 순환에 영향을 주고, 해수면의 온도와 현열, 잠열 등의 요소들이 대기 유동장에 영향을 주는 상호역학적인 과정을 설명할 수 있는 연속적인 개념의 바람장 산출에는 한계가 있다. 육지내의 지형에 따른 바람장은 다소 잘 모의되어지지만 해상과 해안의 경우 그 연구가 미미한 상태이다. 이는 단순한 대기유동장의 사용으로는 해결될 수 없으며 해상의 위성 관측값으로 분석한 결과가 접목되어야 하며, 해양 모형과의 접합으로 정밀한 해양정보를 실시간으로 알 수 있다면 보다 정확한 해상풍이 산출될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 복잡한 해안 지역에 대한 해상풍 모의의 정확도를 향상시키기 위해 기상청의 현업 예보용으로 사용 중인 MM5를 사용하였고 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  $\sigma$ -좌표계로 쓰인 비정수(Non-hydrostatic)방정식계를 사용하며 Arakawa B 격자망으로 구성되어 있다<sup>13)</sup>.

MM5의 해상풍에 대한 예측의 적합성을 검토하고 모형의 지형효과에 의한 해상풍 예측에 대한 정확도를 높일 수 있는 방안을 구축하고자 하며, MM5를 통한 한반도 남동해역의 해상풍 분포를 살펴보고 평가해봄으로써 본 모델에서 구성해야 되는 고해상도 기상초기장의 필요성을 밝혀보려고 한다.

## 2. 자료 및 분석 방법

본 연구의 대상 지역은 한반도 남동해안으로, 불규칙하고 복잡한 지형 및 섬들로 인한 지역적 특성이 기상과 해양현상에 있어 중요하게 나타나고 있다. 봄철 서해안 및 중국으로부터 발생하는 저기압의 영향이 이 지역 기상현상에 지배적 역할을 하고 여름철 남해안에서 올라오는 태풍은 연안지역에 많은 강수와 바람, 해일로 인한 피해를 발생시킨다. 이처럼 한반도 남동해안은 지리적 위치 및 지형적 특성으로 인해 연안지역 및 해양 기상장에 큰 영향을 주게 되고, 이를 정확히 이해하기 위해서는 기상학적 분석이 필수적이라 할 수 있다.

Fig. 1은 본 연구영역으로 지형분포와 기상관측소 위치를 나타내고, 서쪽으로 갈수록 복잡한 해안선을 비롯하여 많은 섬들이 있다. 연안으로는 복잡한 리아스식 해안이 위치하고 있고, 연안도시 내에는 높고 낮은 산악을 형성하고 있으며 경사는 높지 않게 해안으로 완만하게 이어지는 형태를 지니고 있다.

연구기간은 1998년부터 2003년까지의 최근 6년간의 연안 AWS 관측치와 BUOY 관측치를 이용하여, 이 영역의 바람 특성을 분석하였고, 그 분석을 바탕으로 이 지역의 해상풍 특성과 지형에 의한 효과를 잘 살펴보기위해, 4 m/s이하의 약한 풍속을 가진 맑은 날이며 강수가 없는 봄과 여름날의 대표적 사례일(사례 1: 2003.3.20-3.23, 사례 2: 2003.6.6-6.9)을 선정하여, 현업에서 사용되고 있는 MM5를 통해 수치실험을 하였고 본 연구에서는 3.6 version을 사용하였다.

수치모형은 3개의 등지격자를 가지고 있으며, 각 영역의 수평해상도는 각각 18 km, 6 km, 2 km이며, 연직격자는 23층을 두었다. 일반적으로 대기경계층내의 대기현상은 공간규모가 작기 때문에, 지표에 가까운 층을 고해상도로 설정하였다. 물리적과정은 현업에서 사용되는 방안들을 사용하였으며, 각 격자수 및 모델링에 사용된 물리적 과정은 Table 1에

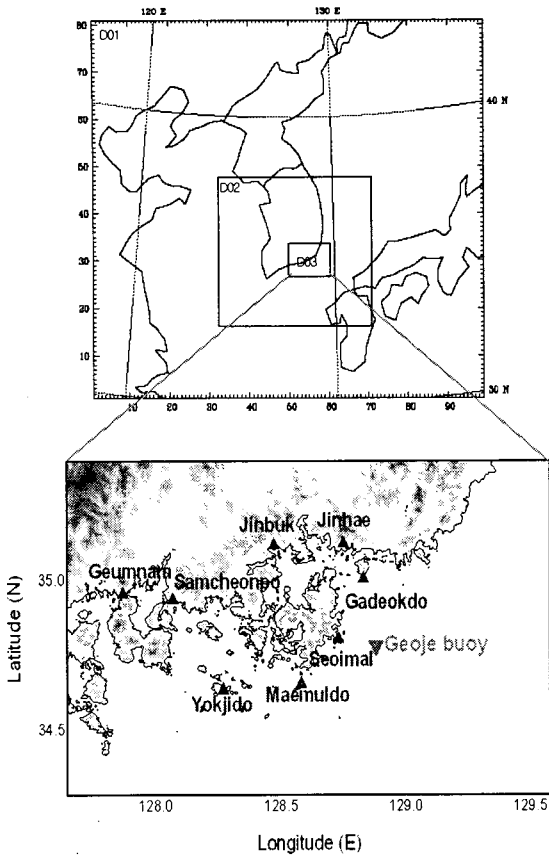


Fig. 1. Nested model domains used in this study. (locations of AWS and Buoy monitoring meteorological sites)

Table 1. Nested model configuration

	Domain1	Domain2	Domain3
PBL scheme	MRF		
Cumulus scheme	Kain-Fritsch 2		
Explicit Moisture scheme	Mix Phase		
Radiation scheme	Cloud-radiation		
Vertical grid	23 layer		
Horizontal grid	81×99	91×112	64×88
Horizontal resolution	18 km	6 km	2 km
Time step	54 s	18 s	6 s
Time Period	73 hour		

표기하였다. 복사과정은 구름의 존재여부를 판단하여 복사량이 결정되는 Cloud-radiation 방안을 사용하고, 대기경계층 난류 모수화 방안은 고해상도 PBL에 적합하고 연직혼합은 장시간의 시간간격에 적합하도록 암시적 스킴을 사용한 Medium Range Forest Model (MRF)를, Explicit Moisture과정은 Mix phase를, 적운모수화는 비교적 최근에 개발되어 기존의 hybrid

방안들의 부족한 점들을 보완한 Kain-Fritsch 스킴 II를 사용하였다<sup>14)</sup>.

수치실험에 사용된 중규모 모델의 초기 및 경계 입력자료는 선정일의 3시간 단위 KMA RDAPS (Regional Data Analysis and Prediction System) 자료를 기본 입력 자료로 사용하였다. MM5를 기반으로 하고 있는 기상청의 RDAPS는 126°E, 38°N에 중심을 두고 30 km의 격자간격으로 동서방향 191개 남북방향 171개의 격자점과 연직방향 33층으로 이루어진 지역모델이다. 연구에 이용된 기압과 기온, 풍향 및 풍속은 최하층 sigma level값인 0.999 (지상고도 약 10m)에서의 값이며, 초기 입력값의 균형을 맞추기 위해서 24시간 spin-up 시간을 두었다.

### 3. 사례일 기상장 분석

남동해안의 바람 특성을 연안과 섬지역, 그리고 해상의 관측치 중심으로 분석해 보았으며 대표적으로 거제부이의 결과를 Fig. 2와 3에 나타내었다. Fig. 2와 3은 풍향의 일중 빈도수와 그에 따른 풍속의 세기분포와 계절별로 평균한 일중 풍속의 시계열을 나타낸 것이다. 부이지점의 풍향은 봄의 경우 남풍계열의 바람이 주간에 50%정도의 높은 빈도로 나타났고 풍속의 세기도 7~12 m/s로 강했다. 여름은 남풍의 빈도와 세기가 봄에 비해 뚜렷이 약해지고 있으며, 대체로 주간과 야간 동안 북풍계열의 바람이 빈도수는 적으나 풍속의 세기가 약 5~7 m/s로 큰 특징이 있다. 가을의 경우는 여름과는 달리 종관적인 영향으로 북풍계열의 바람의 빈도가 주간보다는 새벽과 야간시간대에 증가하는 특징이 있고 강한 풍속이 존재함을 알 수 있다. 겨울은 대륙고기압의 영향이 지배적이어서 북서풍 계열의 풍향 빈도가 탁월하며 (50%이상), 풍향에 따른 풍속의 세기도 7~12 m/s로 새벽과 야간시간대가 주간에 비해 크게 나타나는 특징이 있다.

부이지점에서의 풍속은 계절별로 조금씩 다른 경향을 볼 수 있다. 가을과 겨울은 주로 0100 LST에서 1000 LST시간대에 7~8 m/s 로 높은 풍속분포가 나타나는 반면, 봄과 여름은 새벽과 야간시간대에는 상대적으로 높지 않으나 오후시간대인 1500 LST 이후부터 2200 LST 시간대까지 높은 풍속 분포가 확인된다. 또한 겨울과 여름의 일중 새벽시간의 풍속차이가 약 2 m/s가 나타나 특징적이다.

이처럼 부이 관측치의 경우도 풍속이 그다지 높지 않은 특성을 나타냄으로써, 이 지역의 해상풍 특성과 지형에 의한 효과를 잘 살펴보기 위해, 4 m/s 이하의 약한 풍속을 가진 맑은 날이며 강수가 없는 봄과 여름날의 대표적 사례일을 선정하여 현업에서 사용되고 있는 MM5를 통해 복잡한 남동해안지역

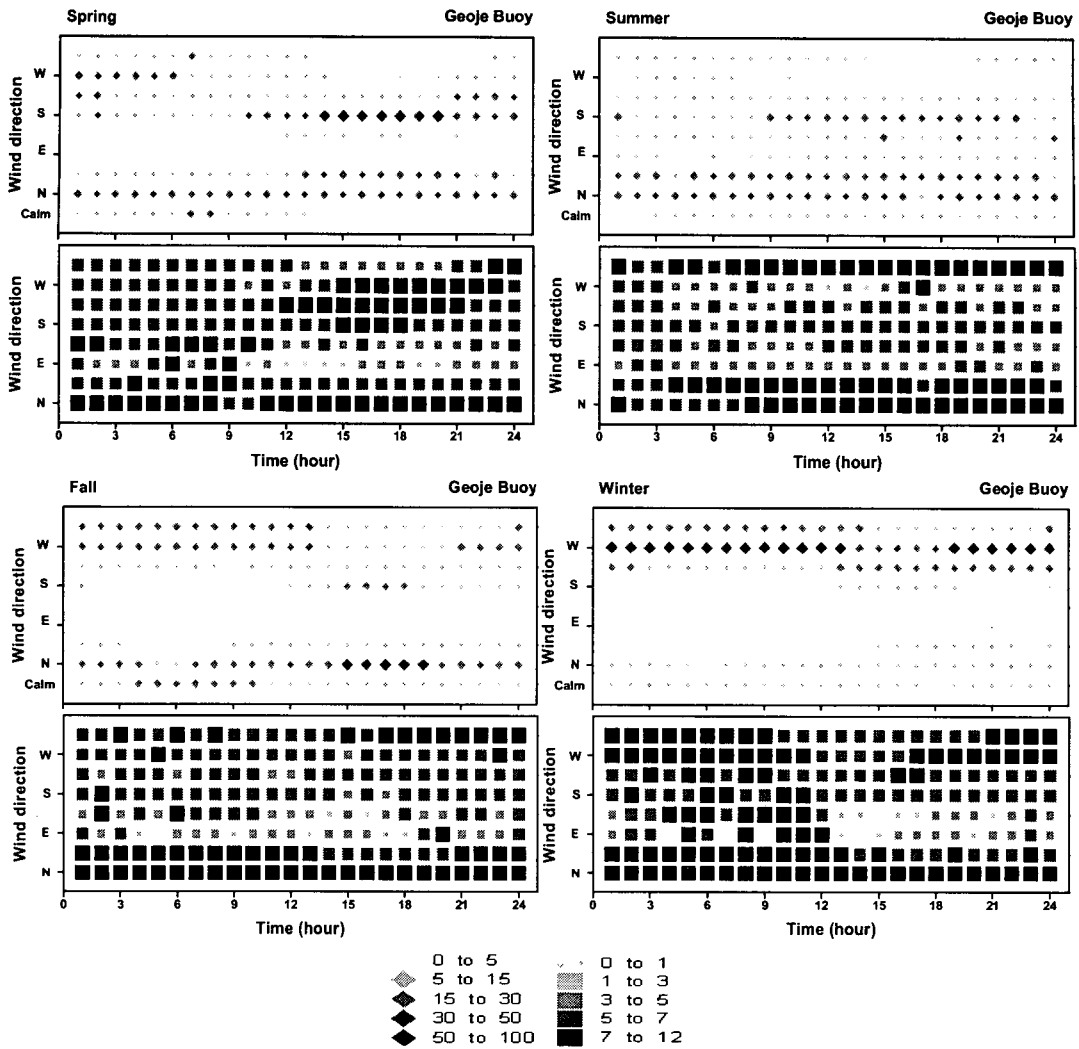


Fig. 2. Diurnal variations of frequency(%) of wind direction and wind speed group according to wind direction at Geoje Buoy.

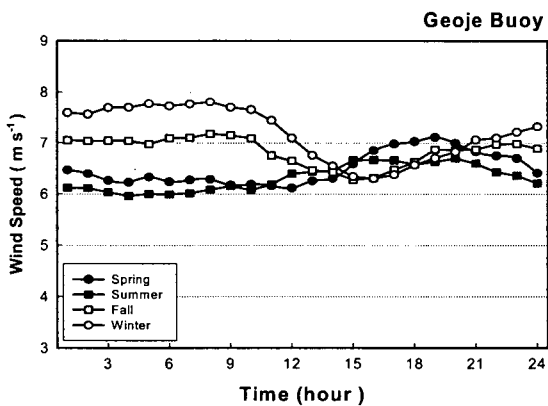


Fig. 3. Diurnal variation of average wind speed at Geoje Buoy.

의 해상풍이 정확히 예측되어지는지 수치실험을 수행하였다.

Fig. 4와 5는 선정된 사례일의 일기도를 나타낸 것이다. Fig. 4의 2003년 3월 20일 1800 UTC의 지상일기도를 살펴보면, 한반도 중심이 고기압 후면에 자리 잡고 북서고기압의 영향 또한 가세하여 전형적인 맑은 봄 날씨임을 알 수 있다. Fig 5는 2003년 6월7일 0600 UTC의 지상일기도로 봄 사례일과는 차이가 있으며, 전선을 동반한 저기압이 한반도를 중심으로 북쪽과 남동, 남서에 각각 자리 잡고는 있지만 서쪽의 대륙성고기압의 강한 영향도 받으므로, 강수가 잦은 여름날에 혼치않은 맑은 날이었다.

사례일 동안의 부산 기상대에서 관측된 기상요소들의 시계열 변화를 살펴보면, Fig. 6과 같다. (a)는

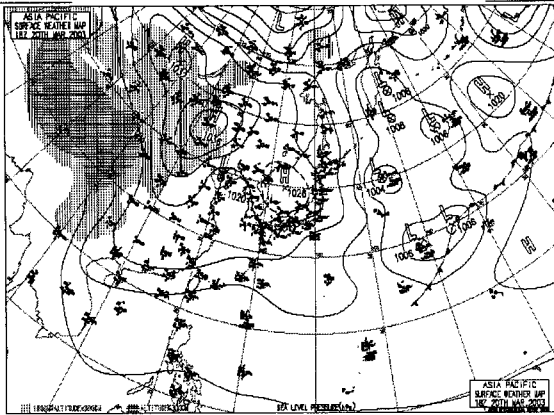


Fig. 4. Synoptic weather map at surface level at 1800 UTC on 20 March, 2003.

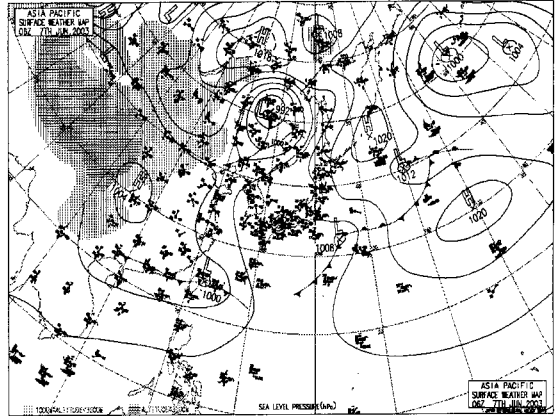
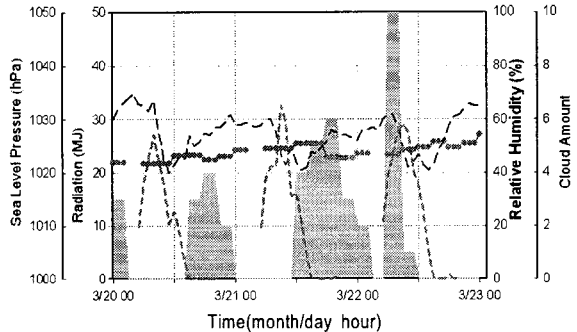
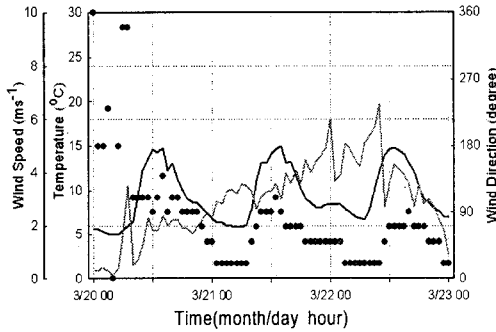
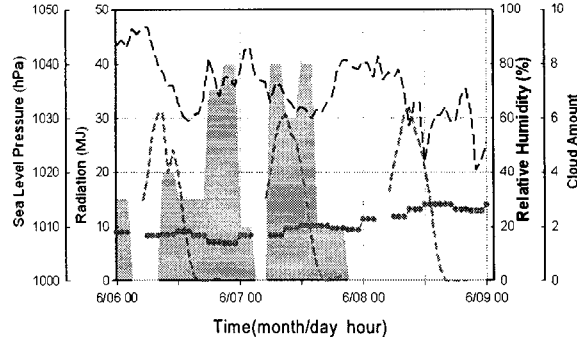
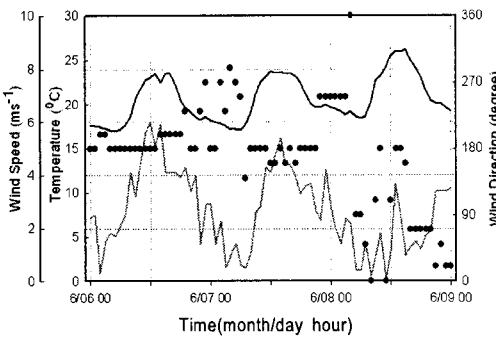
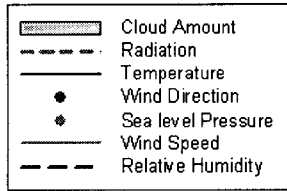


Fig. 5. Synoptic weather map at surface level at 0600 UTC on 7 June, 2003.



(a)



(b)

Fig. 6. Time series of wind speed, temperature, wind direction, sea level pressure, radiation, relative humidity and cloud amount at Busan Meteorology station on (a)20-23 March and (b)6-9 June, 2003.

2003년 3월 20일 0000 LST부터 3월 23일 0000 LST 동안의 해면기압, 복사, 풍속, 기온, 풍향, 상대 습도, 운량의 시계열 변화이다. 기온의 경우, 낮 동안의 최고기온이 14.5°C, 밤동안의 최저기온이 5°C 까지 내려가는 일교차가 큰 전형적인 환절기 기온 패턴을 보였다. 풍향은 종관풍의 영향이 남아있어, 계절풍인 북서계절풍에 의해, 북풍계열의 바람이 4 m/s 이하로 불었다. 운량은 3월 22일 오전동안을 제외하고는 대체로 5/10 이하의 운량을 보임으로써, 일사량은 낮동안 20 MJ 이상의 높은 값이 기록되었다. 또한 해면기압은 1025 hPa 정도의 일정한 값으로 현저히 떨어지는 현상은 보이지 않고 있다. 상대 습도 또한 건조한 겨울과는 달리 40%에서 60%까지의 값을 나타내었지만 낮 동안의 높은 일사량으로

다소 건조한 경향은 남아 있었다.

그림 6(b)의 경우는 2003년 6월 6일 0000 LST에서 6월 9일 0000 LST까지의 기상요소들의 시계열 변화를 제시한 것으로 해면기압의 경우, 주위의 저기압 영향으로 1010 hPa 정도의 낮은 값을 보였고, 25°C의 일 최고기온이 기록되었다. 운량은 봄의 사례에 비해서, 8/10까지의 구름의 영향이 나타나, 본 연구의 수치실험에서 적용된 Cloud-radiation의 복사방안의 타당성이 인정된다. 풍향의 경우는 남풍 계열의 바람이 우세하게 불면서 낮 동안은 해풍의 강한 풍속이 합세되어 봄보다는 강한 값을 나타내었다. 마지막으로 여름의 강한 일사와 높은 상대습도 분포도 잘 나타났다.

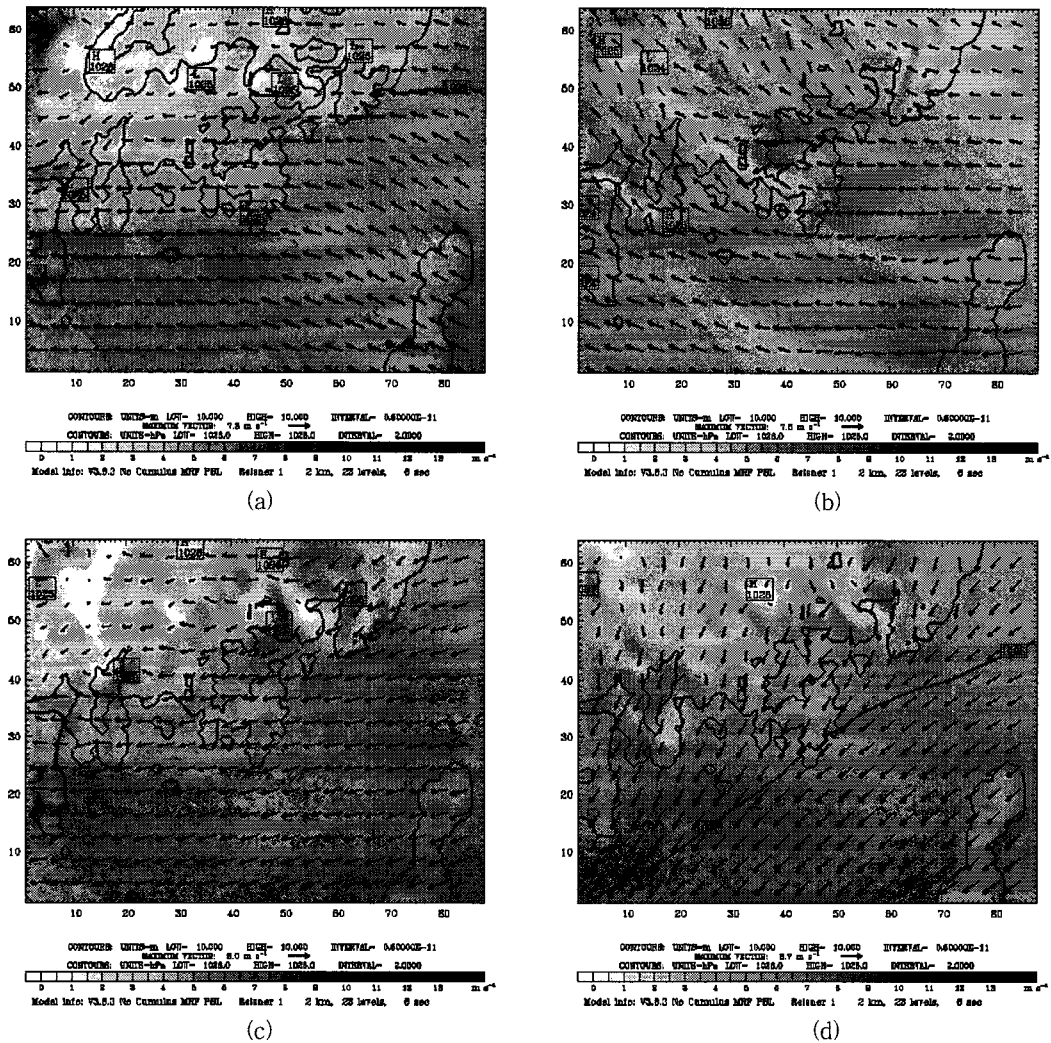


Fig. 7. Simulated wind field on (a)0900 LST, (b)1500 LST, (c)2100 LST, and (d)0300 LST 21-22 March, respectively. Shaded contours indicates wind speed ranging from 0 to 13 m/s.

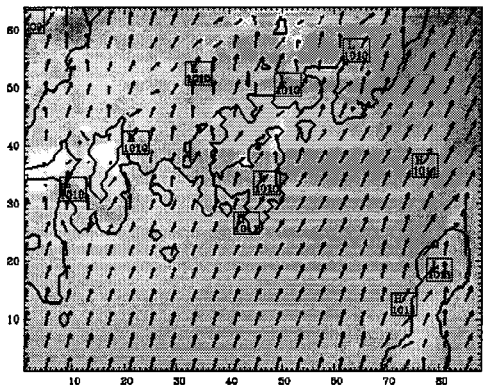
#### 4. 결 과

##### 4.1. 수평바람장 분석

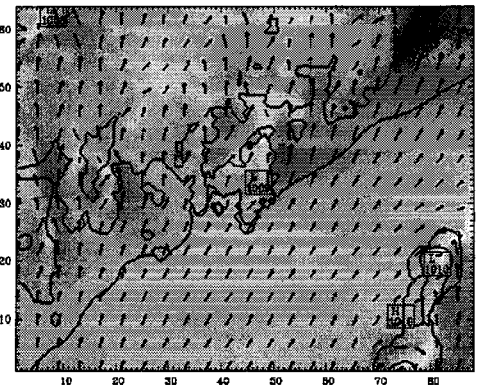
사례1 기간동안의 바람장 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 2003년 3월 21일 0900 LST에는 연안 근처에 동풍이 탁월하며, 남해 근해에서는 내륙에서 불어 내려오는 산풍의 영향도 볼 수 있다. 1500 LST가 되면서 해풍이 강해지고 내륙 깊이까지 해풍이 침투하였고, 2100 LST에는 해풍이 약화되어 내륙에선 대기정체의 모습을 볼 수 있다. 이후 22일 0300 LST에선 뚜렷한 육풍이 나타나 주간과 야간의 풍향 전환의 모습을 잘 나타내었다. 하지만 해상의 북서풍은 일본 열도 지형을 무시하고 불고 있으며, 남동해안의 매물도, 육지도 등의 섬지역에 의해 돌아서 불어 나오는 그런 지형효과는 나타나지 않고 있으며,

해상풍의 움직임은 일괄적으로 나타나고 있다.

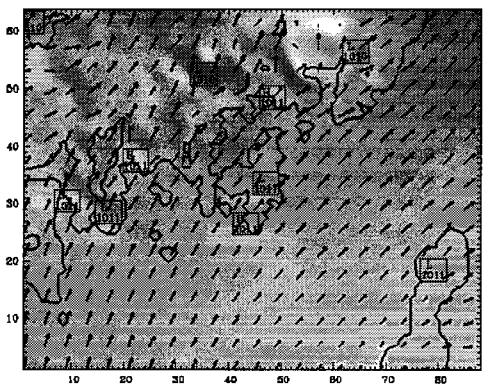
Fig. 8은 사례2 기간동안의 바람장이다. 2003년 6월 6일 0900 LST에 연안의 바람이 내륙 쪽으로 지형을 무시하고 남풍계열의 바람 형태로 불어 들어가고 있으며, 1500 LST에선 내륙 깊숙이 해풍인 남풍이 불어오고 있으며, 부산, 거제, 통영, 남해 등의 해안 지역에 4 m/s 이상의 풍속이 강한 영역을 형성하였지만 0900 LST 분포와의 큰 차이는 나타났지 않았다. 2100 LST의 경우에는 강한 종관풍의 영향인 남풍 계열의 바람만이 전 수평장을 지배하고 있음을 알 수 있다. 다음날인 6월 8일 0300 LST가 되면서 다시 거제도, 서이말 지역 등의 지형효과에 의해 바람이 돌아서 불고, 상대적으로 약한 종관장의 영향으로 지리산으로부터 내려오는 산풍의 국지



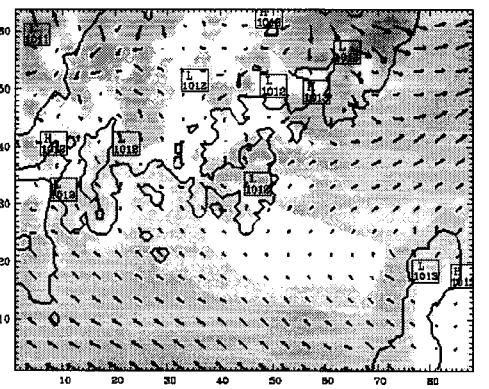
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 8. Simulated wind field on (a)0900 LST, (b)1500 LST, (c)2100 LST, and (d)0300 LST 7-8 June, respectively. Shaded contours indicates wind speed ranging from 0 to 13 m/s.

순환 모습까지도 확인되면서 바람이 3 m/s 이하로 상쇄된 분포를 나타내었다. 대체로 여름 사레일이기에 남풍의 우세한 바람 영향이 전체 풍환경을 지배하고 있음을 알 수 있었다.

4.2 관측 자료와의 비교·분석

수치 실험 결과, 시간에 따른 풍계의 변화는 유사

하게 나타났으며, 낮시간 동안 해풍의 발달과 국지 순환을 잘 모의하는 것으로 나타났다. 하지만 관측치와의 비교를 위해 연안지역인 금남, 삼천포, 진북, 진해와 섬지역인 옥지도, 가덕도, 서이말, 매물도에 있는 각각의 AWS 관측값과 거제부이 및 해상의 QuikSCAT 관측값과의 비교하여 Fig. 9와 10에 나타내었고, Table 2와 3에 그 수치 정보를 제시하였다.

Dataset: 200303 RIP: paper Init: 1500 UTC Wed 19 Mar 03  
 Fcst: 15.00 Valid: 0600 UTC Thu 20 Mar 03 (1500 LST Thu 20 Mar 03)  
 Horizontal wind speed at sigma = 0.997  
 Sea-level pressure  
 Horizontal wind vectors at sigma = 0.997  
 Terrain height AMSL

Dataset: 200303 RIP: paper Init: 1500 UTC Wed 19 Mar 03  
 Fcst: 30.00 Valid: 2100 UTC Thu 20 Mar 03 (0600 LST Fri 21 Mar 03)  
 Horizontal wind speed at sigma = 0.997  
 Sea-level pressure  
 Horizontal wind vectors at sigma = 0.997  
 Terrain height AMSL

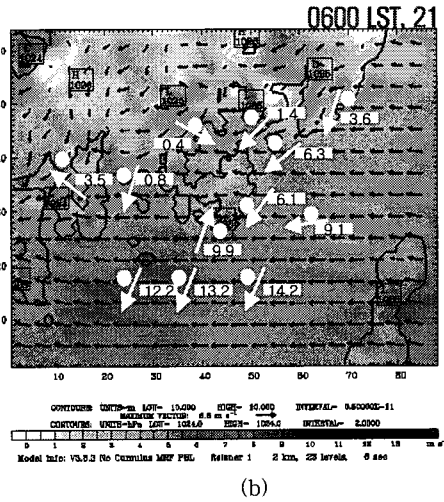
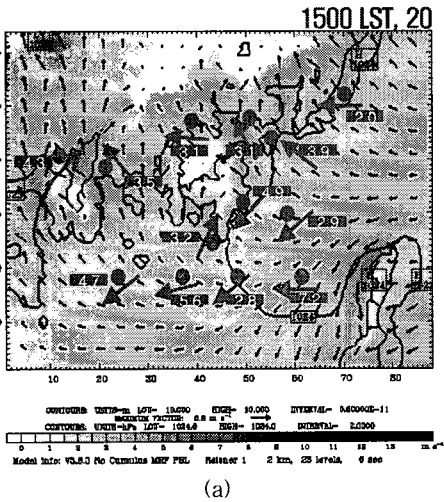


Fig. 9. The wind direction and wind speed observed at each station at (a)1500 LST on 20 and (b)0600 on 21 March, 2003.

Dataset: 200306 RIP: paper Init: 1500 UTC Thu 05 Jun 03  
 Fcst: 38.00 Valid: 0300 UTC Sat 07 Jun 03 (1300 LST Sat 07 Jun 03)  
 Horizontal wind speed at sigma = 0.997  
 Sea-level pressure  
 Horizontal wind vectors at sigma = 0.997  
 Terrain height AMSL

Dataset: 200306 RIP: paper Init: 1500 UTC Thu 05 Jun 03  
 Fcst: 51.00 Valid: 1800 UTC Sat 07 Jun 03 (0400 LST Sun 08 Jun 03)  
 Horizontal wind speed at sigma = 0.997  
 Sea-level pressure  
 Horizontal wind vectors at sigma = 0.997  
 Terrain height AMSL

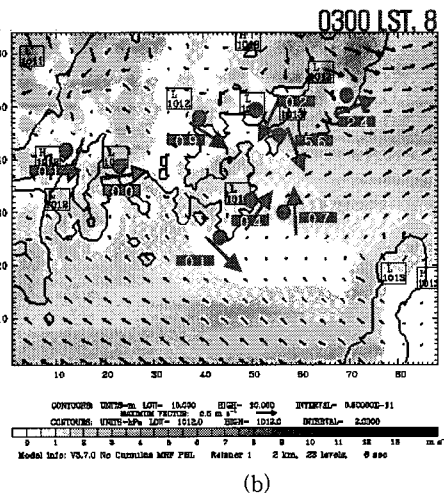
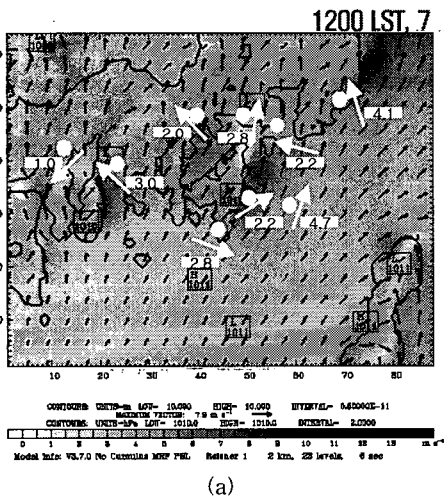


Fig. 10. The wind direction and wind speed observed at each station at (a)1200 LST on 7 and (b)0300 LST on 8 June, 2003.



복합 해안지역 해상풍 모의의 정확도 개선-I: 현업모델의 평가

여기서 지점별 관측치와 모델치를 비교해보면 지형에 의한 바람의 순환 효과와 야간 풍속이 약할 때의 풍향 분포는 잘 모의하지 못하는 것으로 나타났다. 먼저, Fig. 9와 Table 2에서 살펴보듯이 연안지역에서 3월 20일 1500 LST의 경우는 풍속과 풍향의 경향이 유사하나 21일 0600 LST에선 풍속을 강하게 계산하고 풍향의 편차도 큰 편이었다. 섬 지역들도 마찬가지로 20일 1500 LST의 풍속이 21일 0600 LST의 풍속보단 유사한 값을 보여주었고 특히 매물도의 경우, 9.9 m/s의 강풍을 5.5 m/s로 산출하여, 관측기기에 따른 오차인지 계산의 한계인지에 대한 검증이 이루어져야 할 것이다. 해상의 QuikSCAT 값들과 비교해보면, 3월 20일 1500 LST 시간에 북

위 34° 22.8', 동경 128° 7.2' 에서 관측된 값은 4.7 m/s의 북동풍의 해상풍이 불고 있으나, 모델 값은 2.2 m/s 정도의 동풍으로 나왔다. 그리고 북위 34° 22.8', 동경 128° 52.8' 의 위치에서는 동풍의 7.2 m/s의 바람이 불었지만 모의 결과는 2.7 m/s의 북동풍이 불었다. 뿐만 아니라, 3월 21일의 0600 LST에는 34° 22.8', 동경 128° 7.2' 에서 북풍에 가까운 12.2 m/s의 강풍이 불었지만 예측된 바람은 5.6 m/s의 동풍이 불었고, 북위 34° 22.8', 동경 128° 37.2' 에서는 14.2 m/s 풍속의 북동풍을 보였고 모델 값은 5.3 m/s 동풍을 나타냄으로써 전체적으로 많은 오차를 가지고 특히 해상에서의 강한 풍속을 제대로 모의하지 못하고 있음을 알 수 있었다. 이를

Table 2. The comparison of calculated and observed wind in the southeastern area of Korea

Site (latitude, longitude)	Observation <sup>a</sup>		Calculation <sup>a</sup>			
	Wind speed (m/s)	Wind direction (°)	Wind speed (m/s)	Wind direction (°)		
Coastal area (AWS)	Geumnam (34° 57', 127° 52')	4.3/3.5	228/126	1.9/5.1	221/58	
	Samcheonpo (34° 56', 128° 04')	3.5/0.8	137/19	4.3/4.6	152/74	
	Ginbuk (35° 07', 128° 28')	3.1/0.4	94/297	2.9/4	148/34	
	Ginhae (35° 07', 128° 45')	3.1/1.4	148/45	3.2/4.7	148/63	
Inner sea (AWS)	Yuokjido (35° 06', 129° 02')	2.0/2.1	137/269	2.2/5.5	138/93	
	Gadoekdo (34° 59', 128° 50')	3.9/6.3	125/54	3.0/4.4	141/93	
	Seoimal (34° 47', 128° 44')	3.2/6.1	46/38	1.7/4.6	144/92	
	Maemuldo (34° 39', 128° 36')	2.8/9.9	208/202	1.6/5.5	120/91	
Open sea	Buoy (34° 46', 128° 54')	2.9/9.1	52/82	2.0/4.7	110/92	
	QuikSCAT	(34° 22.8', 128° 7.2')	4.7/12.2	56/26	2.2/5.6	96/95
		(34° 22.8', 128° 22.8')	5.6/13.2	77/26	2.2/5.7	84/91
		(34° 22.8', 128° 37.2')	4.9/14.2	55/27	2.1/5.3	59/91
		(34° 22.8', 128° 52.8')	7.2	90	2.7	32

<sup>a</sup>The values of observation and calculation were obtained at 1500 LST on 20 and 0600 LST on 21 March in 2003, respectively.

Table 3. The comparison of calculated and observed wind in the southeastern area of Korea

Site (latitude, longitude)	Observation <sup>a</sup>		Calculation <sup>a</sup>		
	Wind speed(m/s)	Wind direction(°)	Wind speed(m/s)	Wind direction(°)	
Coastal area (AWS)	Geumnam (34° 57', 127° 52')	1.0/0.1	48/21	2.1/3.5	254/322
	Samcheonpo (34° 56', 128° 04')	3.0/0.0	130/261	1.8/2.7	153/269
	Ginbuk (35° 07', 128° 28')	2.0/0.9	136/303	1.9/3.4	175/291
	Ginhae (35° 07', 128° 45')	2.8/0.2	191/27	2.0/3.7	215/309
Inner sea (AWS)	Yuokjido (35° 06', 129° 02')	3.6/0.9	52/92	2.6/2	199/239
	Gadoekdo (34° 59', 128° 50')	2.2/5.6	103/337	3.2/4.1	203/251
	Seoimal (34° 47', 128° 44')	2.2/0.4	239/217	3.3/3.2	217/253
	Maemuldo (34° 39', 128° 36')	2.8/0.1	290/312	2.9/2.8	206/251
Open sea	Buoy (34° 46', 128° 54')	4.7/0.7	201/177	3.5/3.6	213/256

<sup>a</sup>The values of observation and calculation were obtained at 1200 LST on 7 and 0300 LST on 8 June in 2003, respectively.

통해, 밤 동안의 관측 값과의 풍속 차가 낮 동안 보다도 많이 날 것으로 판단되었으며, 특히 해상지역은 과소평가를 연안지역은 밤 동안 과대평가하는 경향을 보이며, 풍향의 경우 연안과 해상은 그 정도가 유사하나 섬 지역에서의 오차가 많이 유발됨으로써 섬들에 의한 지형 효과는 제대로 잘 모의하지 못하고 있음을 알 수 있었다.

사례 2의 관측치와 비교 (Fig. 10과 Table 3)를 살펴보면, 연안지역과 섬지역 모두 풍향의 차이를 보이고 있음을 알 수 있었으며, 6월 7일 1200 LST에 서이말과 매물도 AWS의 풍향과 풍속은 상당히 정확히 모의된 것으로 나타났다. 하지만 8일의 0300 LST에는 전반적으로 풍속을 과대평가하고 있으며, 풍향 또한 잘 맞지 않았다. 해상의 경우, 사례 1에서와는 달리, QuikSCAT자료의 에러로 인해 정확한 비교가 불가능했으며, 차후 더 많은 관측치의 확보와 다른 시간대의 수평바람장에 따른 비교 분석이 동시에 이루어짐으로써 상용모델이 가지는 한계점과 모델의 초기장 형성에 관한 중요성을 다시금 살펴보고자 한다.

본 연구에서 밝혀진 바, 실제 바람을 MM5 수치모형으로 정확히 모의해내지 못하고 있고, 해상풍 예측률을 높일 수 있는 다른 물리적 방안 연구와 자료동화 기법 고안 및 상세 지형 입력방식 구축이 이루어져야 하는 실정이며, 차후 본 연구에 이어, 해상풍 모의의 정확도 개선을 위한 두 번째 연구로써, LAPS(Local Analysis Prediction System)를 이용하여, 위성자료와 GTS, AWS 등의 관측자료의 자료동화를 통해 초기·경계치 값의 개선으로 보다 향상된 복잡한 해안과 해상에서의 바람장을 산출할 수 있으리라 사료된다.

#### 4. 결론

복잡한 해안지역에서의 해상풍 모의의 정확도 개선을 위하여, 먼저 기상청의 기상예측 현업에서 사용되고 있는 중규모 모델인 MM5모형을 통해 수치실험을 수행하였다. 한반도 남동해역의 지형에 따른 바람 특성을 평가해 볼 수 있는 4 m/s이하의 약한 풍속을 가진 맑은 날이며 강수가 없는 봄과 여름날의 대표일 (사례 1: 2003.3.20-3.22, 사례 2: 2003.6.6-6.8)을 선정하여 수치실험을 하였으며, 사례일의 여러 기상요소들 (해면기압, 복사, 풍속, 기온, 풍향, 상대습도, 운량)을 분석함으로써 사례일 선정에 대한 타당성을 밝혔다.

사례 1 기간 동안의 바람장 결과에서 봄 동안의 일반적인 계절풍과 낮과 밤 동안에 나타나는 전형적인 국지순환계를 잘 나타내는 것으로 분석되어지

지만, 밤 동안에 남해 남부 해상 지역은 동해에서 불어 내려온 바람이 작은 섬들의 지형을 무시하고 동풍으로 불어나가는 것을 보아, 낮은 풍속임에도 불구하고 지형효과를 잘 나타내지 못하고 있다는 것을 알 수 있었다. 사례 2 기간 동안의 바람장 분석 결과, 낮동안은 남동풍 계열의 해풍이 강하게 불고 있는 것을 볼 수 있으며, 전반적으로 해륙풍 등의 국지순환풍과 여름철의 계절 경향을 잘 나타내었다.

이처럼, 낮 시간 동안 해풍의 발달과 국지순환을 잘 모의하는 것으로 수치실험에서 보여주었지만, 연안지역인 금남, 삼천포, 진북, 진해와 섬지역인 옥지도, 가덕도, 서이말, 매물도에 있는 각각의 AWS 관측값과 거제부이 및 해상의 QuikSCAT 관측값과의 비교를 통해 대체적으로 낮보다는 연안지역의 약한 풍속을 보이는 밤 시간대에 수평 분포를 제대로 모의하지 못하는 결과가 나타났다. 아울러 밤 동안의 연안지역에선 풍속이 과대평가되고 섬과 해상지역에서의 바람은 과소평가되는 경향을 보이며, 풍향의 경우도 밤시간대에 편차가 크게 나타남을 알 수 있었다. 차후, 더 많은 사례일을 분석함과 동시에 관측치와의 통계분석을 통한 정확한 검증이 수행될 필요가 있으며, 두 번째 해상풍 모의의 정확도 개선 방안인 LAPS를 이용한다면 보다 향상된 바람장을 산출할 수 있으리라 본다.

결론적으로, 현업에 사용되고 있는 MM5 수치모델 환경으로 실제바람을 정확히 모의해 내지 못하고 있는 바, 해상풍 예측률을 높일 수 있는 다른 물리적 방안 연구와 자료동화 기법 고안 및 상세 지형 입력방식 구축이 필요하다고 사료되어진다.

#### 감사의 글

본 연구는 기상청 기상지진연구개발사업 “해양기상변화 탐지기술개발” 과제의 일환으로 수행된 것입니다.

#### 참고문헌

- 1) Lie, H. J., I. K. Bang, S. S. Yook and C. W. Lee, 1983, Analysis of meteorological data at coastal weather station around Korea, KORDI. BSPE 00053-74-1, 108pp.
- 2) 나정열, 팽동국, 1992a, 동해 남서해역의 해류 및 열구조에 미치는 해상풍의 영향, 한국수산학회지, 25(1), 15-28.
- 3) 나정열, 서장원, 한상규, 1992b, 한국근해의 월평균 해상풍, 한국해양학회지, 27(1), 1-10.
- 4) Kang, I. S., M. K. Kim and T. Shim, 1994,

- Seasonal variation of surface heat budget and wind stress over the seas around the Korean Peninsula, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29(4), 325-337.
- 5) Lie, H. J., J. Y. Na, S. K. Han and J. W. Seo, 1994, Monthly mean sea surface winds over the East China Sea, *KORDI Rep. BSPE 00367-683-1*, 91pp.
  - 6) Han, S. K., H. J. Lie and J. Y. Na, 1995, Temporal and spatial characteristics of surface windsover the adjacent seas of the Korean Peninsula, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 30(6), 550-564.
  - 7) 전해진, 안희수, 1997, 조석잔차류와 해상풍에 의한 황해와 동중국해의 해수 순환과 부유물 이동 모델 연구, *한국지구과학회지*, 18(6), 529-539.
  - 8) Sekine, Y., 1987, Wind-driven Circulation in the Japan Sea and its Influence on the Branching of the Tsushima Current, *Prog/Oceanogr.*, 17, 297-312.
  - 9) Na, J. Y. 1988, Wind Stress distribution and It's Application to Upper-Layer Structure in the East Sea of Korea, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23(3), 97-109.
  - 10) Na, J. Y. and B. H. Kim, 1990, A Laboratory of Formation of "The Warm Core" in the East Sea of Korea, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 22(6), 415-423.
  - 11) 이동규, 권재일, 한상복, 1998, 감포-을기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계, *한국수산학회지*, 31(3), 359-371.
  - 12) 이미선, 2003, 위성 자료와 약 제약 조건 4DVAR 가 호우 모의에 미치는 영향, *서울대학교 박사 학위 논문*, 268pp.
  - 13) Dudhia, J., 1993, A nonhydrostatic version of the penn state/NCAR mesoscale model : validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1493-1513.
  - 14) Kain, H. S. and J. M. Fritsch, 1993, Convective parameterization for mesoscale models; The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., *Amer. Meteor. Soc.*, 246.