

## 중규모 기상모델(MM5/KMA)과 3세대 파랑모델(WAVEWATCH-III)로 계산된 한반도 주변해역의 2002년 월평균 해상풍과 파랑 분포 특성

서장원\* · 장유순  
기상연구소 해양기상지진연구소

### Characteristics of the Monthly Mean Sea Surface Winds and Wind Waves near the Korean Marginal Seas in the 2002 Year Computed Using MM5/KMA and WAVEWATCH-III model

JANG-WON SEO\* AND YOU-SOON CHANG

Marine Meteorology and Earthquake Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea

기상청에서 현업 예보용으로 사용되는 중규모 기상 모델(MM5/KMA)의 해상풍 예측 결과와 이를 입력 자료로 게 3세대 파랑 모델(WAVEWATCH-III)을 적용하여 2002년 1년 동안의 한반도 주변해역의 해상풍과 파랑 특성을 분석 하였다. 모델 결과의 검증 을 위해서 해양기상 관측 부이의 관측 자료와 TOPEX/POSEIDON 위성의 유의 파고 자료를 이용한 통계 비교 분석을 실시하였다. 관측 값과 모델 결과 사이에 약 60-80%의 상관성을 나타내었고, 연안에 가장 근접해 위치한 칠발도의 풍향을 제외하면, 연안 지역까지의 해상풍과 파고를 본 모델에서 잘 재현하고 있다고 분석되었다. 위의 검증 결과를 토대로 2002년 한반도를 포함한 동아시아 해역의 월평균 해상풍 및 유의파고, 파장, 파주기의 분포도를 제시하였다.

We have analyzed the characteristics of the monthly mean sea surface winds and wind waves near the Korea marginal seas in the 2002 year on the basis of prediction results of the sea surface winds from MM5/KMA model, which is being used for the operation system at the Korea Meteorological Administration and the third generation wave model, WAVEWATCH-III, which takes the sea surface winds derived from MM5/KMA model as the initial data. Statistical comparisons have been applied with both the marine meteorological observation buoy and the TOPEX/POSEIDON satellite wave heights data to verify the model results. The correlation coefficients between the models and observation data reach up to about 60-80%, supporting that these models satisfactorily simulate the sea surface winds and wave heights even at the coastal regions except for Chilbal-Do located very close to the land. Based on these verification results, the distributions of monthly mean sea surface winds, significant wave heights, wave lengths and wave periods around the Korean marginal seas during 2002 year have been represented.

**Key words:** Sea Surface Winds, Wind Waves, MM5/KMA, WAVEWATCH-III, Correlation

## 서 론

한반도 주변 해역에서의 해양 악기상 예측, 그리고 해상풍 및 파랑 정보에 대한 정확한 자료의 제공은 해군 작전 등과 같은 국가 방위차원에서 뿐만 아니라 국가 경제 차원의 안전한 해상 조업 및 국민의 해상 여가 활동의 보장을 위해서 그 필요성은 더욱 증대되고 있다.

해표면에서 일어나는 현상 중 인간의 해상 활동에 크게 영향을 미치고 있는 파랑 현상에 관한 연구들은 파랑의 발달 및 성장, 성

분파 간의 상호작용, 파의 소멸 등과 같이 이론적인 측면을 시작으로 그동안 체계적으로 이루어져 왔으며, 1960년 대 이후 다양한 파랑 수치 모델이 지속적으로 개발되면서 해상풍 및 파랑 모델의 성능의 검증이 꾸준히 이루어져 왔다. Zambresky(1989)는 ECMWF 바람장을 입력 자료로 갖는 전구 WAM 모델과 WMO 부이자료와의 비교 결과를 제시하였으며, Bauer 등(1992)과 Romeiser(1993)는 각각 Seasat 과 Geosat 위성 자료와의 비교 결과를 제시하였다. 세 결과 모두 대체적으로 수치 모델이 관측 결과에 비해 해상풍 및 유의 파고를 낮게 모사하며, 특히 남반구 해역에서는 약 20% 정도의 음의 편차를 나타낸다고 보고하고 있다. Hwang 등(1999)은 동중국해 해역의 NCEP 6시간 예측 자료를 이

\*Corresponding author: jwseo@metri.re.kr

용하여 WAM 모델 결과를 TOPEX/POSEIDON 위성자료와 비교 검증하였다.

그러나, 한반도를 포함한 동아시아 해역만을 대상으로 한 해상풍 및 파랑 결과 자료의 분석에 관한 연구는 매우 부족한 실정이며, 국내에서는 주로 천체 파랑모델을 이용하여 연근해의 파랑 변조 등을 고찰하는 해양 공학적 측면의 연구 결과들이 주류를 이루고 있다. 또한, 파랑모델의 초기장 뿐만 아니라, 순환모델의 경계 조건으로 입력되는 한반도 근해의 해상풍에 대한 연구 또한 기존의 Na 등(1992)의 자료를 제외하고는 현재까지 매우 부족한 상태이다.

본 연구에서는 한반도 주변해역의 해상풍과 파랑 특성을 분석하고 예측하기 위해, 중규모 대기 모델과 실시간 종관 기상자료를 기반으로 하여 그 예측 성능을 높여 현재 기상청에 현업 예보용으로 운영중인 MM5/KMA 모델과 이를 초기조건으로 하는 제3세대 파랑 모델인 WAVEWATCH-III(Tolman, 1999)를 이용하였다. 동아시아 전체 해역에 대한 모델 모의 성능 검증을 위해서 TOPEX/POSEIDON의 파고 관측 자료를 월별로 비교하였으며, 천해역의 정확한 검증을 위해 기상청에서 운영되고 있는 5지점(덕적도, 칠발도, 거문도, 거제도, 동해)의 해양기상 부이의 해상풍 및 파랑 관측 자료를 이용하여 2002년 1년간의 모델 결과 값과 비교하였다. 이러한 결과를 근거로 2002년 한반도를 포함한 동아시아 해역의 월별 해상풍 및 유의파고, 파주기, 파장의 분포도를 제시하였다.

### 모 델

본 연구에서 사용된 파랑 모델은 성분파 상호간의 비선형 에너지 전달항을 명시적으로 계산하며 시·공간적으로 변화하는 해상풍 및 해류, 조류의 효과와 에너지 소산, 해저면과의 상호작용에 의한 분산 작용까지 고려하고 있는 제3세대 파랑 모델(WAVEWATCH-

III)이다. WAVEWATCH-III 모델은 현재 NOAA/NCEP에서 기존의 WAM 모델을 대신해서 현업용으로 이용되고 있으며, 미국 Delft 대학에서 Tolman(1989)에 의해 처음 개발되었고(WAVEWATCH-I), NASA에서 WAVEWATCH-II로 발전되어져 왔다(Tolman, 1991, 1992).

한국 근해를 포함하는 동아시아 해역의 파랑 전파를 모사하기 위해 고안된 모델 영역은 경도 115°E-145°E, 위도 20°N-50°N의 영역으로 해상도는 위, 경도 각각 0.5°이다. Global and CFL time step은 Tolman(1999)의 식에 따라 900초, 입력 바람장 및 성분파 간의 비선형 효과, 해저면과의 에너지 소실 등에 의한 파랑 발생 및 전파, 소멸의 source term을 효율적으로 계산하기 위한 Minimum time step은 300초로 각각 계산하였다. 해저면과의 상호작용을 고려하고 있는 본 모델에서는 수심 자료로 ETOPO-5의 1/12° 전구 수심 자료 중 연구 해역을 대상으로 내삽하여 사용하였으며, 최저 수심은 2.5 m로 산정하였다. 해저면 마찰계수는 경험 상수인 0.067 m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>이 적용되었다(Bouws and Komen, 1983).

안정화된 파랑의 생성과 그 예측을 위한 초기 조건으로 사용되는 해상풍은, PSU(Pennsylvania State University)/NCAR(National Center for Atmospheric Research)에서 개발된 중규모 기상모델(MM5)을 기상청 및 기상연구소에서 한반도 상황에 맞게 재구성한 MM5/KMA의 48시간까지의 최하층 바람장의 예측 결과를 Yamada(1976)의 이론에 근거하여 변환한 상공 10 m 해상풍을 사용하였다.

해상풍 및 파랑인자 값의 산출을 위한 모든 작업은 기상청 슈퍼컴퓨터인 SX5b-16A를 통해서 하루에 2회씩 00 UTC와 12 UTC에 수행된다. MM5/KMA 모델에서 계산된 3시간 간격의 48시간 해상풍 예측 자료와 ETOPO-5의 해저수심 자료는 하루에 두 번 파랑 모델에 초기 자료로 입력되며, 실제 48시간까지의 파랑 방정식을 적분하는 과정을 거친 후에 3시간 간격의 위, 경도 필드 자

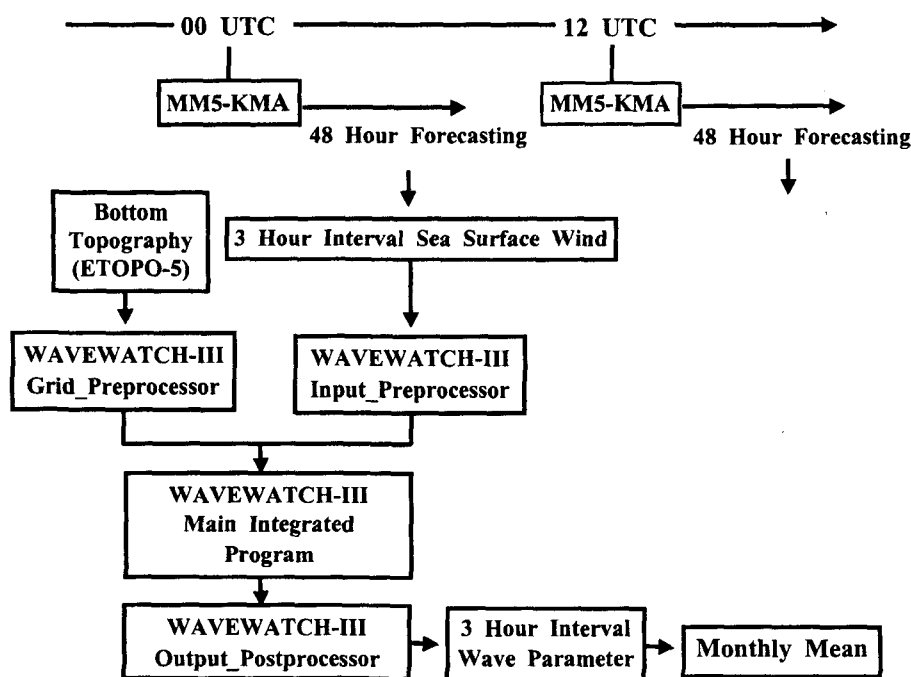


Fig. 1. Configuration of sea surface wind and sea wave prediction system.

료가 생성된다. 한달동안의 해상풍 및 파랑 인자 자료가 축적되면 한반도를 포함한 동아시아 영역의 월평균 해상풍, 유의파고, 파장, 파주기 등의 파랑 인자 분포 형태를 파악하게 된다. 2001년의 1년 동안의 시험 운영 단계를 거친 후 2002년부터 3시간 간격의 해상풍 및 유의파고, 파향, 파주기, 파장 등의 파랑 인자들의 자료 축적을 시작하였고, 본 연구에서는 2002년 1년간의 결과를 분석하였다. 반복되는 계산 작업 과정을 도식화 한 그림은 Fig. 1과 같다.

### 부이 자료를 이용한 모델 검증

기상청에서는 해양기상 관측 부이를 설치하여 매일 1시간 간격으로 실시간 자료를 수집하여 위성 통신으로 육상에 송신 한다. 풍향, 풍속, 기압, 기온, 상대습도, 수온, 파고(최대, 유의), 파향, 파주기 등의 관측 인자 중 본 연구에서는 비교적 결측 자료가 적은 2002년 1년 동안의 모든 풍향, 풍속, 유의 파고 자료를 이용하여 해상풍 및 파랑 예측 모델의 검증에 사용하였다. 현재까지 기상청에서 운영되고 있는 해양기상 관측 부이의 위치와 정보는 Fig. 2와 Table 1에 정리하였다.

1시간 간격으로 수집되는 부이 관측 자료 중 기후 평균의 극값에 대해 관측 값이 3배가 넘는 자료에 대해서는 오류로 간주하여 제거하였고, 풍속과 파고가 0으로 기록된 값에 대해서도 모두 에러 값으로 간주하여 검증 자료에서 제거하였다. 같은 시간대의 부이

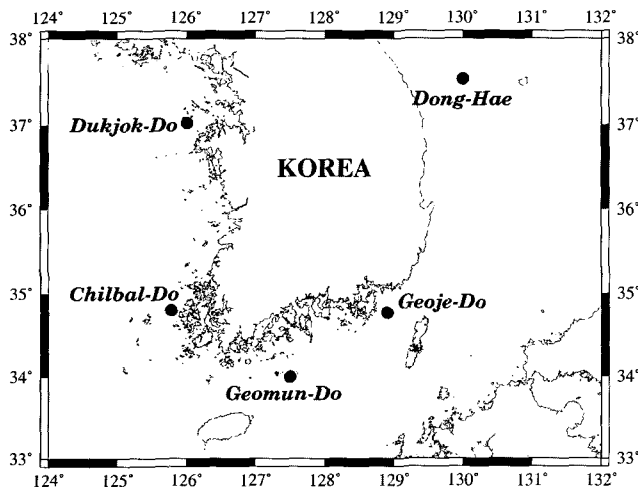


Fig. 2. The positions of marine meteorology buoys operated by KMA.

이 관측 값과 모델 결과 사이의 BIAS(mean error), RMSE(Root Mean Square Error), SI(Scatter Index), CORR(Correlation Coefficient), Regression slope 등의 통계적 요소들이 검증에 사용되었다. BIAS, RMSE, SI, CORR 등은 다음과 같이 정의되며, Regression Slope는 선형 회귀법을 통해 구해진다.

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (Y_{com} - Y_{obs})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_{com} - Y_{obs})^2}$$

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_{com} - Y_{obs} - BIAS)^2}}{\bar{Y}_{obs}}$$

$$CORR = \frac{\frac{1}{N-1} \sum (Y_{com} - \bar{Y}_{com})(Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})}{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (Y_{com} - \bar{Y}_{com})^2} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})^2}}$$

상기식에서 N은 검증 자료의 개수이며,  $\bar{Y}_{com}$ ,  $\bar{Y}_{obs}$ 는 모델(관측) 값의 시계열 평균을 의미한다.

파랑예측의 신뢰도는 대기모델의 결과인 해상풍 예측 결과에 따라 신뢰도가 좌우된다. 그러므로 파랑 모델의 결과를 검증하기에 앞서, 우선적으로 해상풍 예측 결과에 대한 검증을 실시하여야만 한다. 또한 해상풍의 경우 풍향과 풍속을 동시에 고려하는 통계의 변화를 검증해야 하기 때문에 해상풍 모델과 부이 관측 자료 사이의 벡터 상관계수는 Crosby 등(1993)의 식을 이용하여 계산하였다. 0부터 2사이의 값을 가지는 벡터 상관 계수는 분석 자료의 개수에 의존하지만, 일반적으로 1.5를 넘으면 매우 좋은 상관성을 나타내는 결과이며, 0.4 이하는 상관성이 매우 낮다고 설명할 수 있다(Crosby 등, 1993).

### 부이 검증 결과 및 분석

Fig. 3과 Table 2는 덕적도, 칠발도, 거제도, 거문도, 동해에 위치하고 있는 기상청 부이의 관측 풍속과 해상풍 모델의 결과를 비교한 것이다. 두 자료의 단순 상관계수는 덕적도 0.70, 칠발도 0.737, 거제도 0.686, 거문도 0.793, 동해 0.702 로 전체적으로 높은 상관성을 보이고 있다. 거제도를 제외하고 모든 지점에서 양의 편차를 보임으로 모델에서의 해상풍 풍속이 관측 결과에 비해 다

Table 1. The information on buoy positions operated by KMA

| Buoy       | Position  | Depth   | Observation Parameters                                |
|------------|---|---------|---|
| Dukjok-Do  | 15 km west of Dukjok-island<br>37°14'N, 126°01'E      | 30 m    | *Wind direction                                       |
| Chilbal-Do | 2 km northwest of Chilbal-island<br>34°48'N, 125°47'E | 33 m    | *Wind speed<br>*Air temperature                       |
| Geomun-Do  | 14 km east of Geomun-island<br>34°00'N, 127°30'E      | 80 m    | *Humidity<br>*Pressure                                |
| Geoje-Do   | 16 km east of Geoje-island<br>34°46'N, 128°54'E       | 84 m    | *Wave height(maximum, significant)<br>*Wave direction |
| DongHae    | 70 km east of Donghae city<br>37°32'N, 130°00'E       | 1,518 m | *Wave period<br>*Sea surface temperature              |

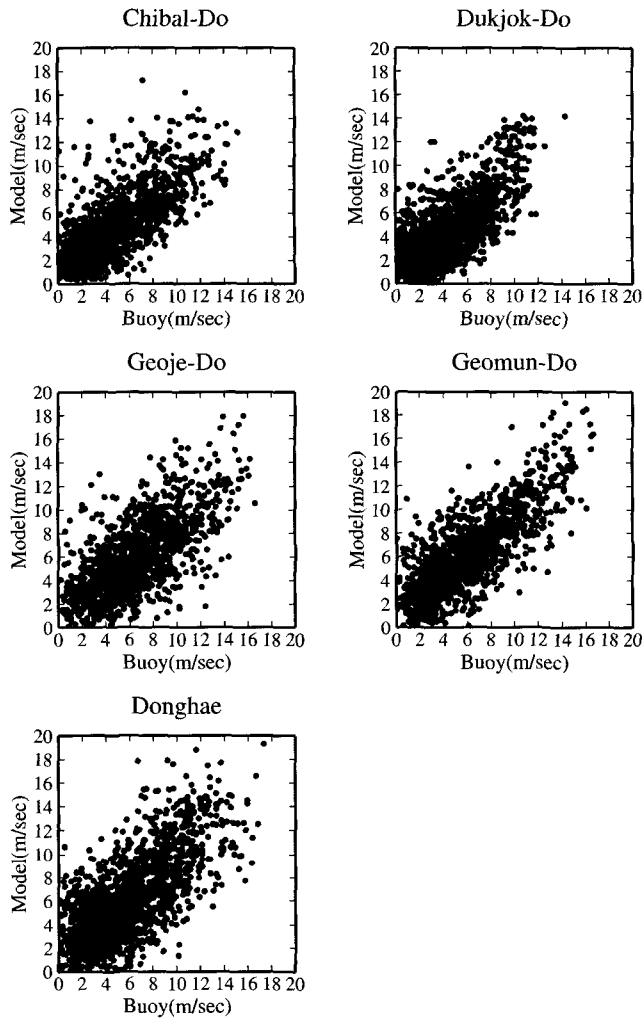


Fig. 3. Comparisons between the calculated and the observed wind speeds during 2002 year.

소 강하게 모사하고 있다는 사실을 알 수 있지만, 선형회귀 분석 결과 y절편 값은 평균 1.57 m/sec 정도이고, 기울기 값이 모든 지점에서 1보다 작은 점으로 판단할 때, 본 MM5/KMA 모델은 전체적으로 약한 풍속에 대해서는 강하게, 강한 풍속에 대해서는 다소 약하게 풍속을 모사하는 한계점이 존재한다고 판단된다. 그러나, 1 m/sec 에서부터 약 20 m/sec 까지의 풍속의 급변을 안정적으로 잘 모사하고 있으며 통계 검증 결과 본 MM5/KMA 모델의 결과 자료는 2002년 해상풍 공간 패턴을 파악할 수 있는 좋은 자료로서, 한반도 근해의 파랑 정보의 생성을 위한 파랑예측 모델의

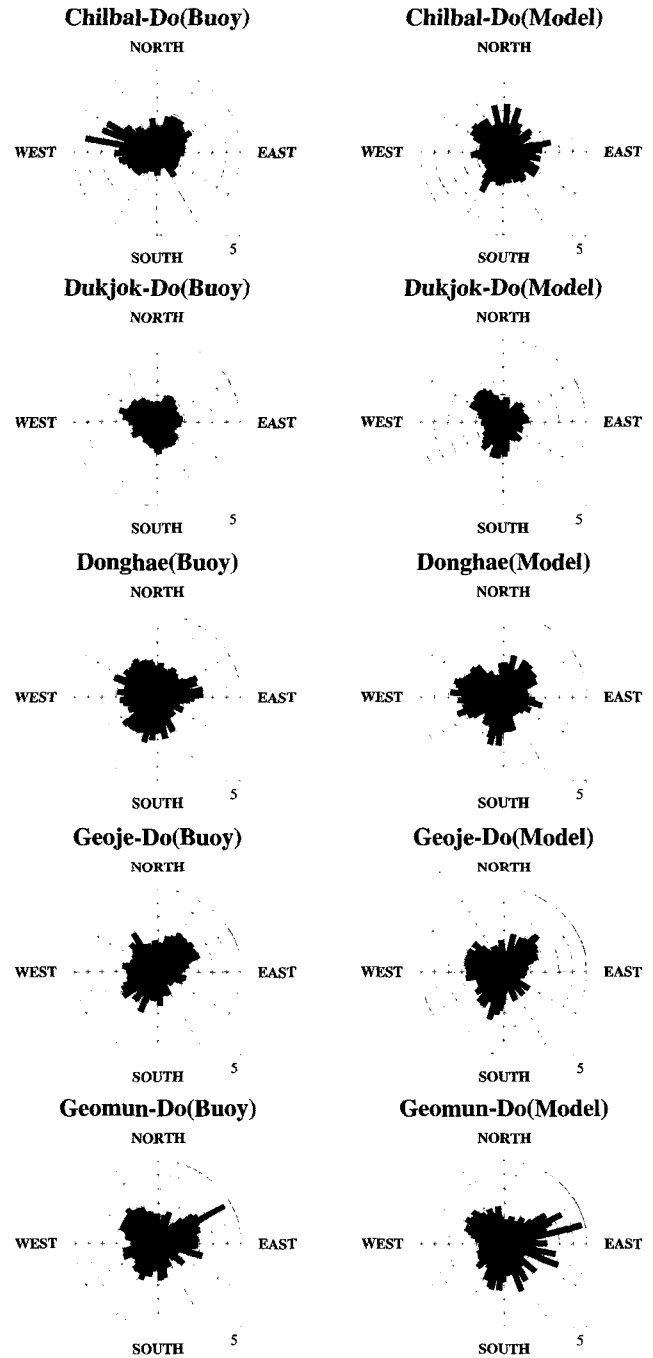


Fig. 4. Wind rose diagrams based on calculated and observed wind parameters during 2002 year.

Table 2. Statistics for the simulated wind speed and direction at the buoy positions

|                | No. of Data | BIAS (m/sec) | RMSE (m/sec) | SI (m/sec) | CORR  | Regression Slope | intercept of y axis (m/sec) | Vector Corr. |
|----------------|-------------|--------------|--------------|------------|-------|------------------|-----------------------------|--------------|
| Dukjok island  | 1623        | 0.037        | 2.080        | 0.460      | 0.701 | 0.700            | 1.392                       | 1.139        |
| Chilbal island | 1401        | 0.015        | 2.194        | 0.477      | 0.737 | 0.685            | 1.460                       | 0.337        |
| Geoje island   | 1340        | -0.617       | 2.631        | 0.385      | 0.686 | 0.664            | 1.616                       | 1.318        |
| Geomun island  | 1205        | 0.139        | 2.324        | 0.370      | 0.793 | 0.777            | 1.535                       | 1.490        |
| Donghae        | 1624        | 0.311        | 2.676        | 0.452      | 0.702 | 0.739            | 1.847                       | 1.317        |

초기장으로 사용되기에 적절하다고 판단된다.

Fig. 4는 각각의 부이 관측 자료에 대해서 2002년 1년 동안의 풍계 분포 양상을 나타낸 바람 장미 분포도이다. 해안으로부터 약 2 km 떨어져 있어 육상의 풍계에 절대적으로 지배받는 칠발도의 경우에는 백터 상관계수의 값이 0.337로 매우 낮게 계산되었으며, 특히 육풍(동풍 또는 동남풍)계열의 강한 바람의 모사 성능이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나, 칠발도를 제외한 나머지 모든 지점에서는 백터 상관계수의 값이 모두 1.0이 넘게 계산됨으로 육상으로부터 10-20 km 이내의 천해의 풍계 변화를 대체적으로 잘 반영한다고 볼 수 있다. 0.5°의 해상도를 가진 본 모델에서 수 km 이하의 공간 스케일을 가지는 연안의 국지 해역의 해상풍의 풍계를 모사하는 데 있어서는 수치적인 한계점이 존재한다. 그러므로 후속 연구를 통해 모델 해상도를 높임으로써, 천해의 풍계 모사 성능을 높일 수 있으리라 사료된다. 전체적인 통계 검증 결과들은 Table 2에 정리하였다.

Fig. 5와 Table 3은 덕적도, 칠발도, 거제도, 거문도, 동해에 위치하고 있는 기상청 부이와 모델의 유의파고 결과를 비교한 것이다. 두 자료의 단순상관계수를 계산한 결과 덕적도는 0.824, 칠발도는 0.848, 거제도는 0.703, 거문도는 0.832, 동해는 0.763 으로 높게 계산되었다. 이 결과는 파랑 모델의 초기 자료로 들어가는 해상풍의 풍속의 단순 상관계수(Table 2) 보다 높은 것이다. Cavaleri 등(1988)은 한 지점에서의 파고의 양상은 그 순간의 풍향, 풍속의 직접적인 효과뿐만 아니라 시, 공간적으로 전파해 오는 파랑의 중첩 효과에 의해서 결정된다고 설명하였다. 본 모델에서도 파랑의 전파 양상이 너울 등의 형태로 천해까지 충분히 잘 반영되어서 유의파고의 상관성을 높이는 역할을 하였다고 사료된다.

각 해역별 특성에 따른 계산 결과의 차이는 거의 없었고, 칠발도를 제외하고, 모델 결과가 관측값에 비해 평균적으로 10-44 cm 정도 유의 파고가 높게 계산됨을 알 수 있다. 자세한 통계적 결과는 Table 3에 정리하였다.

### 위성 검증 결과 및 분석

기상청에서 운영중인 해양기상 관측부이는 주로 연안역에 위치해 있기 때문에, 동아시아의 먼 바다의 영역까지 포함하고 있는 본 파랑 모델의 성능 검증을 위해서 TOPEX/POSEIDON 위성의 유의 파고 자료와의 비교 검증을 실시하였다.

TOPEX/POSEIDON에서 관측한 유의 파고는 부이 관측 결과의 비교 검증을 통해서 RMSE는 평균 0.14 m, 회귀식의 기울기는 0.97에서 1.0 사이의 높은 정밀도를 갖는다는 사실이 확인되었다 (Ebuchi and Kawamura, 1994; Gower, 1996).

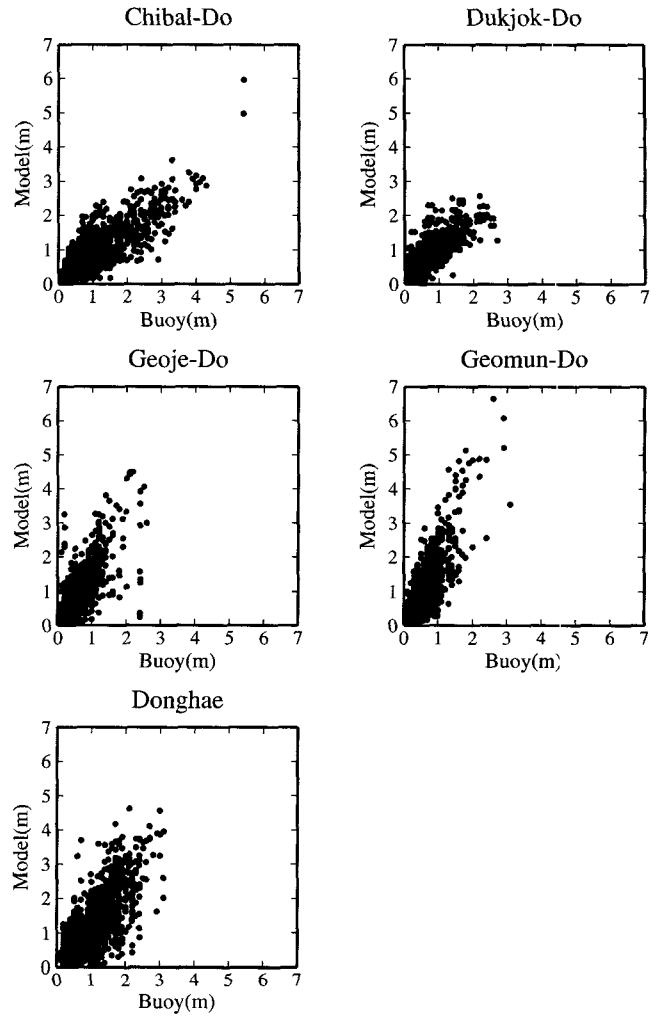


Fig. 5. The same as Fig. 3 except for significant wave heights.

본 연구에서는 0.5° 간격의 모든 모델 격자점에서 각 격자점의 0.25° 범위 내에 가장 근접한 위치에서 TOPEX/POSEIDON 위성에서 관측된 파고 자료를 선택하여 모델 결과와 비교 하였다. 03 UTC와 12 UTC의 자료를 대상으로 부이 자료 검증과 동일한 과정으로 월 평균 통계 값을 산출한 결과는 Table 4 및 Fig. 6과 같다.

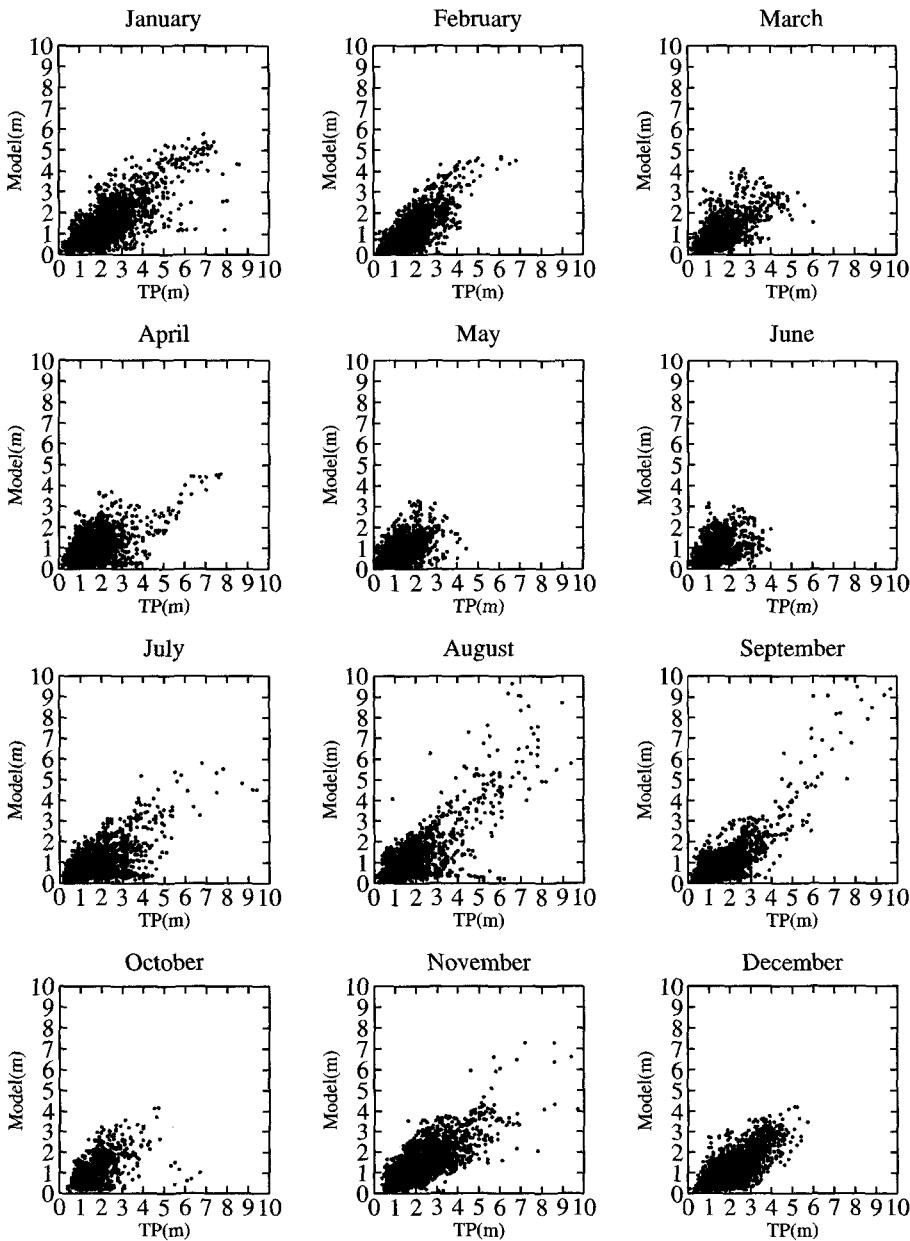
2월과 3월을 제외하고 모든 계절에 평균 0.71 m의 음의 편차를 보이고 특히 파고가 약할 때 이러한 편차가 더 커지는 양상을 확인할 수 있으며, 본 결과는 서론에서 언급한 Bauer 등(1992)과 Romeiser(1993)의 결과와 일치하는 것이다. 모델 결과와 위성 자료 사이에 평균 60%의 상관성을 나타내며, 비교적 풍속이 약한 4,5,6

Table 3. Statistics for the simulated significant wave height at the buoy positions

|                | No. of Data | BIAS (m) | RMSE (m) | SI (m) | CORR  | Regression Slope | intercept of y axis(m) |
|----------------|-------------|----------|----------|--------|-------|------------------|------------------------|
| Dukjok island  | 1557        | 0.111    | 0.304    | 0.536  | 0.824 | 0.896            | 0.166                  |
| Chilbal island | 1367        | -0.109   | 0.441    | 0.475  | 0.848 | 0.698            | 0.163                  |
| Geoje island   | 1304        | 0.237    | 0.552    | 0.847  | 0.703 | 1.220            | 0.107                  |
| Geomun island  | 1175        | 0.439    | 0.725    | 1.075  | 0.832 | 1.815            | 0.002                  |
| Donghae        | 1587        | 0.099    | 0.533    | 0.588  | 0.763 | 1.052            | 0.053                  |

**Table 4.** Monthly statistics obtained by comparing WAVEWATCH-III simulated significant wave height with TOPEX/POSEIDON wave height data

|           | No. of Data | BIAS(m) | RMSE(m) | SI(m) | CORR  | Regression Slope | Intercept of y axis(m) |
|-----------|-------------|---------|---------|-------|-------|------------------|------------------------|
| January   | 2447        | -0.819  | 1.337   | 0.361 | 0.741 | 0.614            | 0.052                  |
| February  | 1998        | 0.823   | 0.823   | 0.349 | 0.720 | 0.675            | -0.093                 |
| March     | 1456        | 0.872   | 0.872   | 0.426 | 0.612 | 0.525            | 0.184                  |
| April     | 2311        | -0.707  | 1.117   | 0.475 | 0.540 | 0.398            | 0.288                  |
| May       | 2487        | -0.491  | 0.561   | 0.461 | 0.470 | 0.398            | 0.247                  |
| June      | 2175        | -0.425  | 0.516   | 0.470 | 0.460 | 0.426            | 0.282                  |
| July      | 1683        | -0.776  | 1.340   | 0.493 | 0.658 | 0.473            | 0.144                  |
| August    | 2322        | -0.656  | 1.118   | 0.475 | 0.814 | 0.765            | -0.249                 |
| September | 2126        | -0.795  | 1.146   | 0.416 | 0.784 | 0.750            | -0.364                 |
| October   | 1025        | -0.694  | 1.011   | 0.417 | 0.532 | 0.471            | 0.229                  |
| November  | 2171        | -0.860  | 1.451   | 0.357 | 0.750 | 0.571            | 0.155                  |
| December  | 2275        | -0.887  | 1.215   | 0.311 | 0.702 | 0.601            | -0.049                 |



**Fig. 6.** Monthly comparisons between the calculated wave height and TOPEX/POSEIDON observed data during 2002 year.

월에 상관계수가 떨어지는 것을 알 수 있다. 천해역의 부이 자료와의 검증 결과보다 상관성이 떨어지는 요인으로는, 위성 파고 관측 자료 자체의 부정확성 및 검증에 사용된 위성 자료의 선택 시 개관 분석 등의 공간 자료 동화 과정을 거치지 않고 모델 격자와의 최소 거리 자료를 이용한 요인 등의 가능성을 생각해 볼 수 있다.

### 월평균 해상풍 및 파랑 분포 특성

2002년 1년간의 해상풍 및 유의 파고 검증 결과 2002년 1년 동안 본 연구를 위해 구동된 MM5/KMA 해상풍 모델과 WAVEWATCH-

III 파랑 모델의 결과가 한반도 및 동아시아 해역의 해상풍 및 파랑 분포를 잘 재현한다고 판단되어, 2002년 1년 동안의 월평균 해상풍 및 파랑 분포도를 제시하였다.

월평균 해상풍은 기존의 기후평균자료(Na 등, 1992; Kalnay 등, 1996; Hellerman and Rosenstein, 1983)에 비해 공간 변화율이 큰 해상풍 값이 산출되었으며, 계절 풍계에 따른 양, 음의 쉼이 모사되고 있다(Fig. 7). 특히, 한반도 주변해역에서의 겨울철의 북, 북서 계절풍과 여름철의 남서, 남동 계절풍이 잘 모사되고 있으며, 전형적인 풍계 형태인 겨울철 블라디보스톡 근처의 양의 쉼, 남서해역의 음의 쉼이 뚜렷이 나타나고 있다. 6월의 경우 대만을 중심

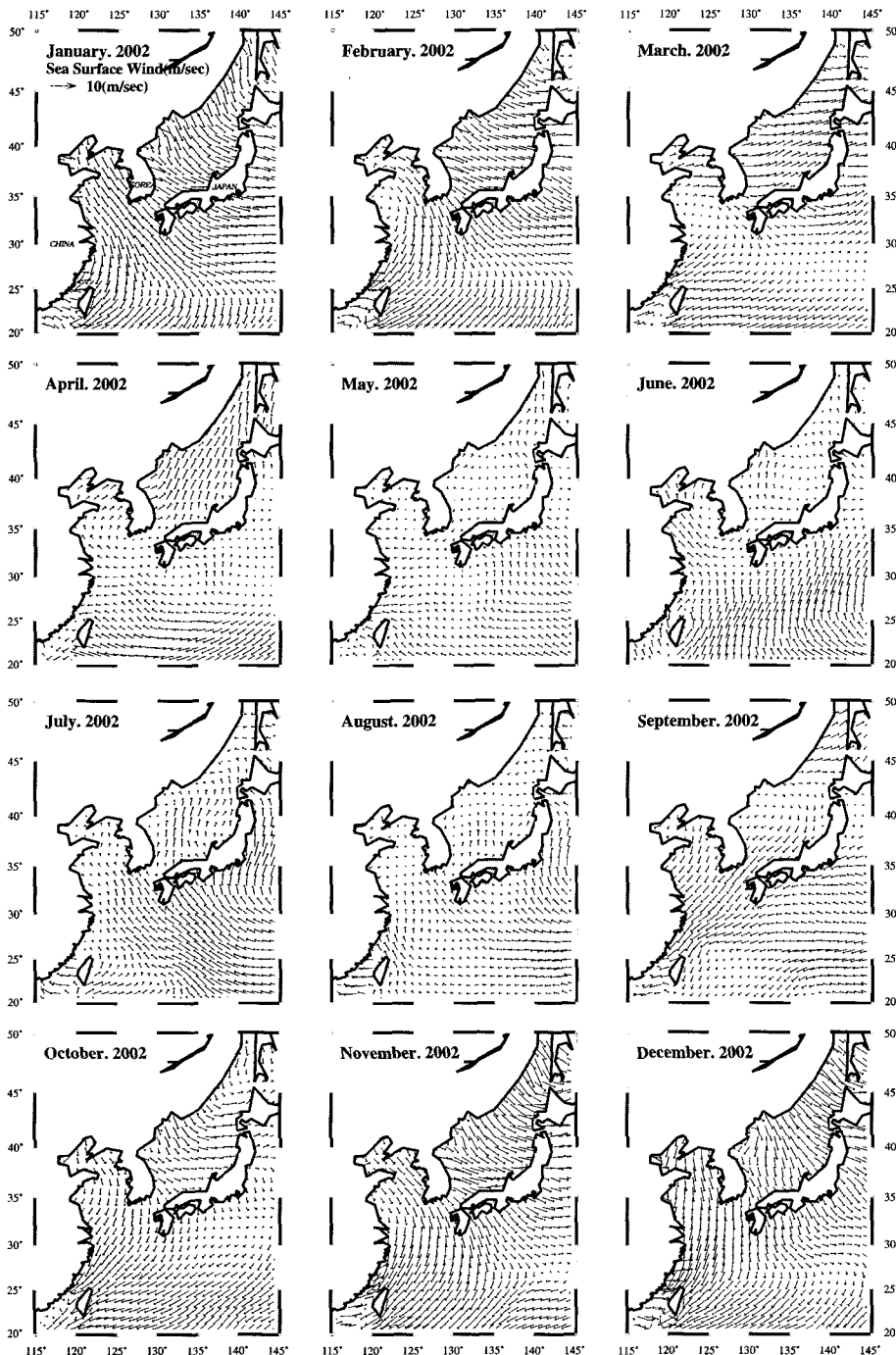


Fig. 7. Distributions of the monthly mean sea surface winds during 2002 year.

으로 대만해협과 쿠로시오 북상지역으로 풍계가 나뉘는 모습을 잘 재현하고 있으며, 2002년 5호 태풍 라마순을 시작으로 21호 히고스 태풍까지의 총 17개의 태풍이 주로 통과한 북서태평양의 7월, 8월, 9월 기간에는 비교적 강한 풍속과 복잡한 풍계 형태를 나타내고 있다. 9월, 10월, 11월에는 대만 해협을 중심으로 강한 북동풍이 탁월하다. 본 연구 결과인 한국 근해를 포함한 동아시아 영역의 지역적인 효과가 잘 반영된 해상풍 자료가 해양 순환 모델의 초기 입력 자료로 새롭게 활용되어 한반도 주변해역의 해류장을 보다 정확하게 묘사할 수 있으리라 기대되며, 매일 새롭게 갱신되는 해상풍 자료를 확보함으로써, 해양 순환 예보의 초기 입력

자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

유의 파고와 그 편차에 관한 결과는 Fig. 8과 Fig. 9와 같다. 큰 파고를 유발하는 7, 8, 9월의 북서태평양의 태풍 통과 해역과 겨울철 동해 해역에서의 파고의 시, 공간적 변동성, 즉 파고 편차가 크다는 사실을 알 수 있다. 일반적으로 파고가 높은 지역이 파고 편차가 크며, 이는 높은 파고의 발생이 월중 계속 지속되지 않으며, 그 횟수가 해상 파고의 월 평균장을 대표할 정도로 빈번치 않게 발생한다고 분석될 수 있다.

한반도 근해 지역에서는 봄철과 가을철에 남, 서해역에 비해 동해역의 파고가 높게 계산되었다. 특히 남해와 서해에 비해 동해에

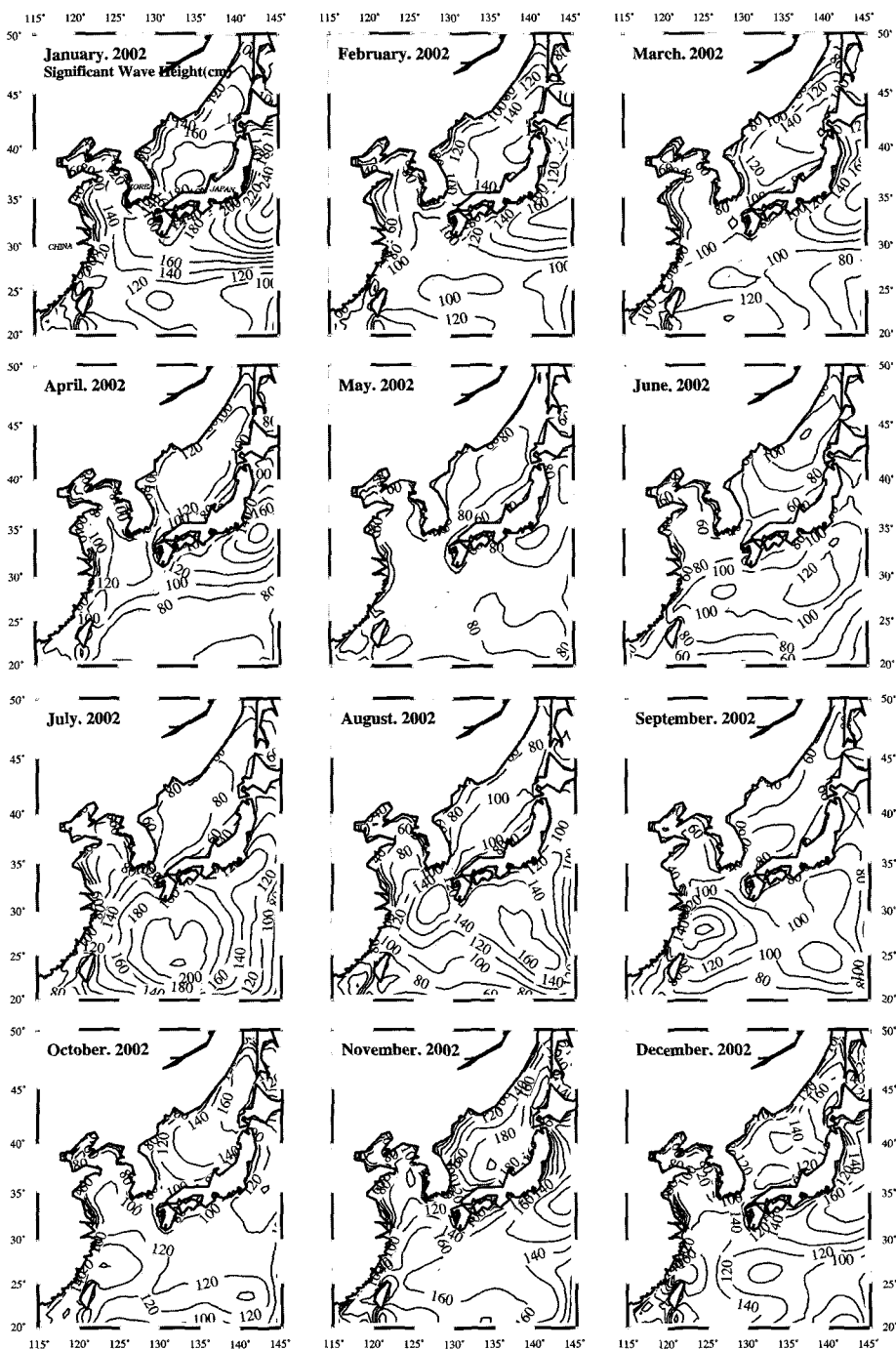


Fig. 8. The same as Fig. 7 except for significant wave heights.



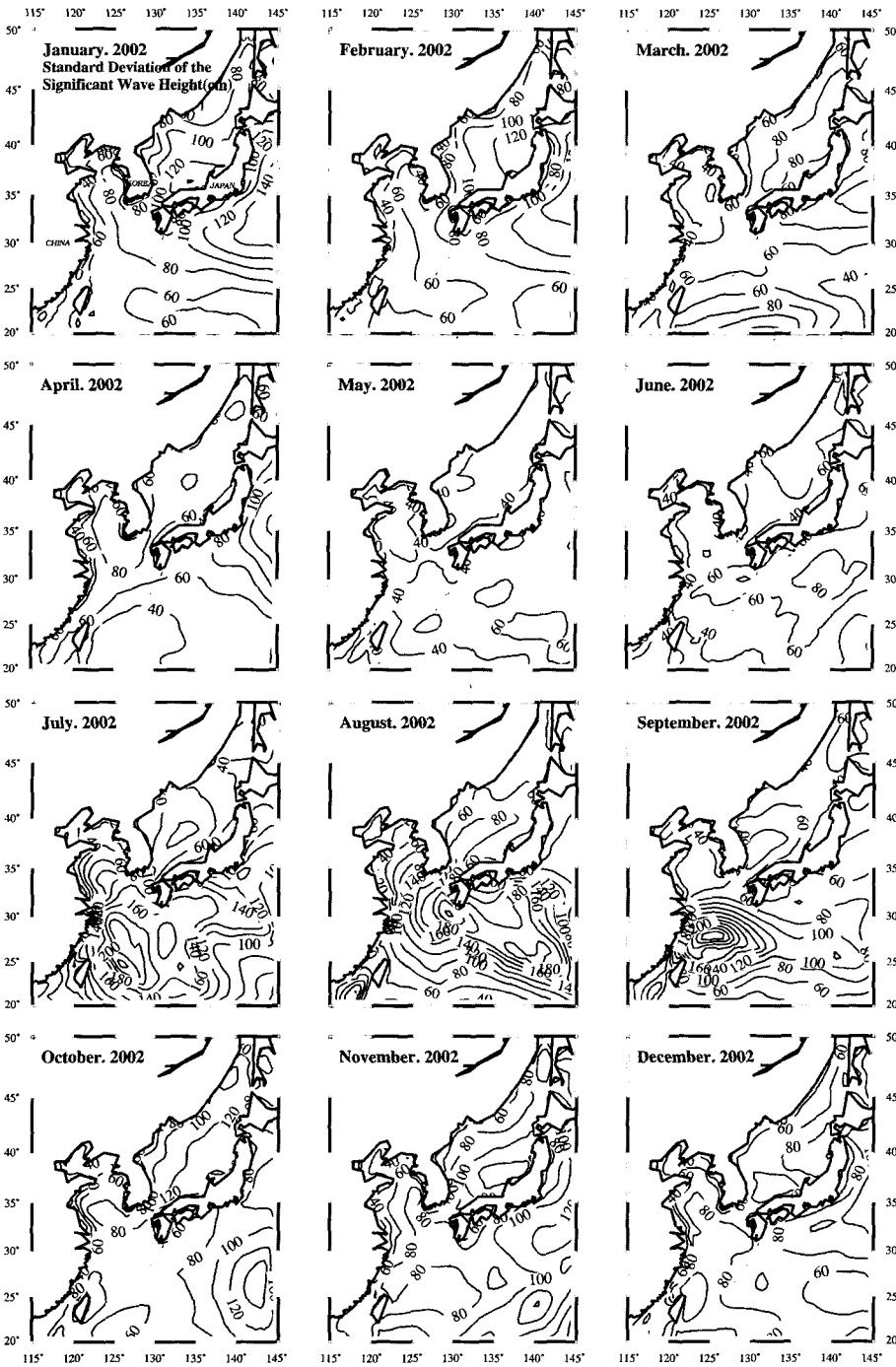


Fig. 9. The same as Fig. 7 except for the deviations of significant wave heights.

서는 파랑이 발달하기에 충분한 취송거리가 조성될 수 있으며 대양의 특성을 잘 나타내는 중앙 해역에서 연중 파고가 높으며, 강한 북서풍이 탁월한 겨울철에는 남동 해역까지의 파랑 전파에 의한 연근해 부근에서의 파의 중첩과 반사가 일어나서 파고가 높아진다는 사실을 알 수 있다.

7, 8, 9월에 태풍 통과 지역에서는 파고, 파장이 큰 장파 및 장주기 파가 북서태평양 지역에 주로 복잡하게 존재하며, 일반적으로 풍속이 강한 겨울철에도 다른 계절에 비해 장주기 파가 많이 발생한다. 평균 파장의 범위는 약 10 m-50 m 범위이며, 월평균 평균 파주

기는 4초에서 10초 사이로 계산되었으며, 취송 거리가 충분히 긴 대양에서의 파장과 파주기가 높게 나타난다(Fig. 10 and Fig. 11).

요약 및 결론

현재 기상청에서 중규모 기상 모델(MM5/KMA)과 이를 입력 자료로 갖는 제 3세대 파랑 모델(WAVEWATCH-III)을 이용하여 한반도 주변해역의 해상풍과 파랑 특성을 분석하였다.

모델 결과의 검증을 위해서 기상청에서 운영되고 있는 해양기

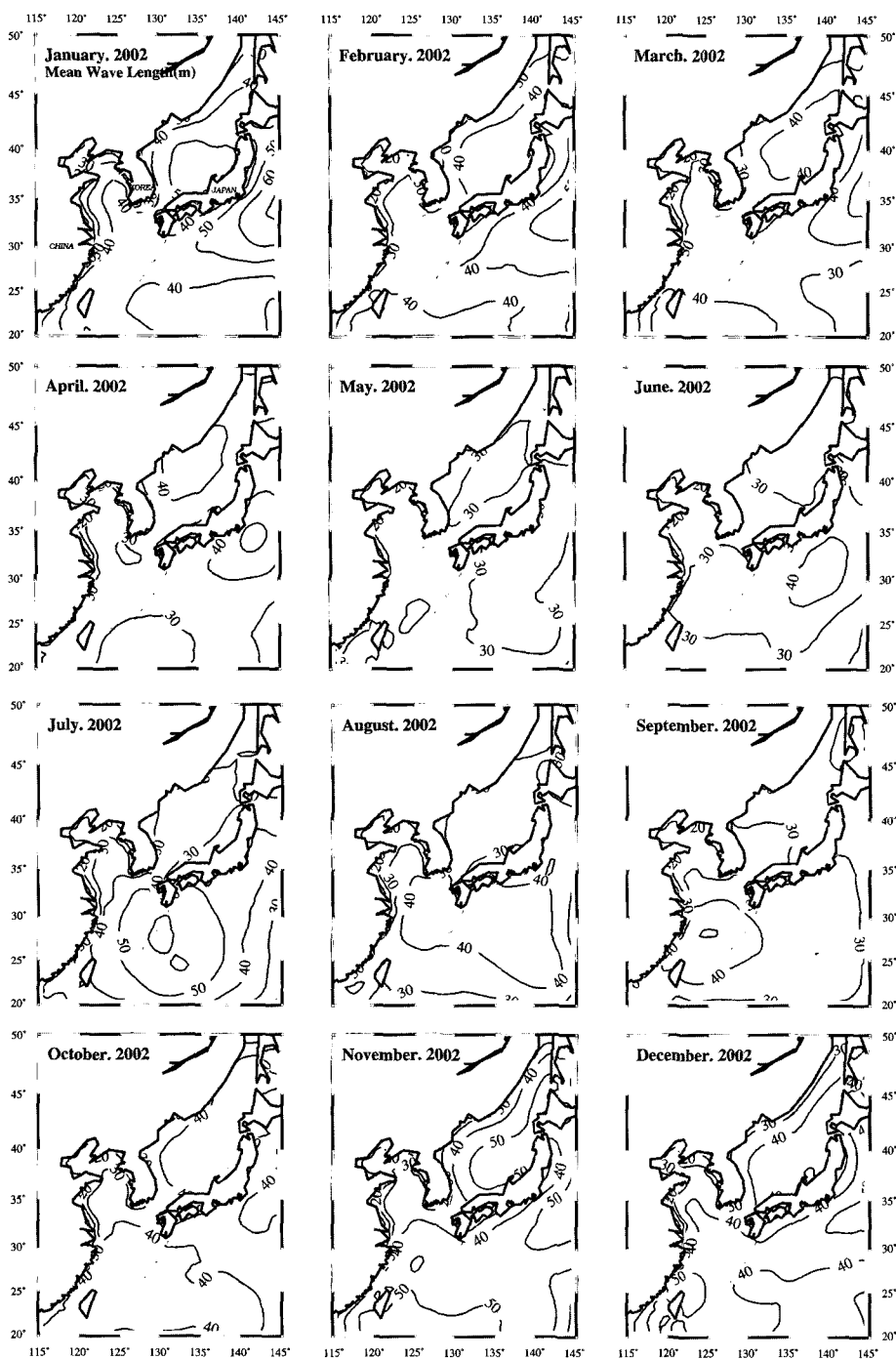


Fig. 10. The same as Fig. 7 except for mean wave lengths.

상 관측 부이자료 및 TOPEX/POSEIDON 위성 파고 자료를 이용하여 2002년 1년간의 관측 값과의 통계 비교 분석이 이루어졌다. 관측 값과 모델 결과 값 사이의 상관성이 약 60-80%로 높게 나타났으며, 연안에 가장 근접해 위치한 칠발도의 풍향을 제외하면, 연안지역까지의 해상풍과 파고를 잘 재현하고 있음을 보여주었다.

2002년 한반도를 포함한 동아시아 해역의 월별 해상풍은 기존의 기후평균 해상풍 자료보다 공간적 변화 양상이 뚜렷하며, 계절에 따른 전형적인 풍계 변화를 잘 모사하고 있다.

전체적으로, 파고가 큰 지역이 파고 편차가 크게 나타났으며, 한반도 주변해역에서는 남, 서해역에 비해 동해에서 높은 파고가 존재하였다. 북서태평양의 여름철 태풍 통과 시와 겨울철 풍속이 강한 동해상에서의 파장과 파주기가 크게 계산되었다.

본 연구에서 개발된 해상풍 및 파랑 예측시스템은 향후 고해상도를 가진 아격자 체계(nested grid)를 도입하여 해역별 국지파랑 예측이 가능하도록 구축 할 예정이며, 부이 자료 및 다양한 위성 자료와의 계속되는 비교 검증을 통하여 보다 더 정확한 해상풍 및 파랑 예측 정보를 실시간으로 생산해 낼 예정이며, 매년 갱신되는

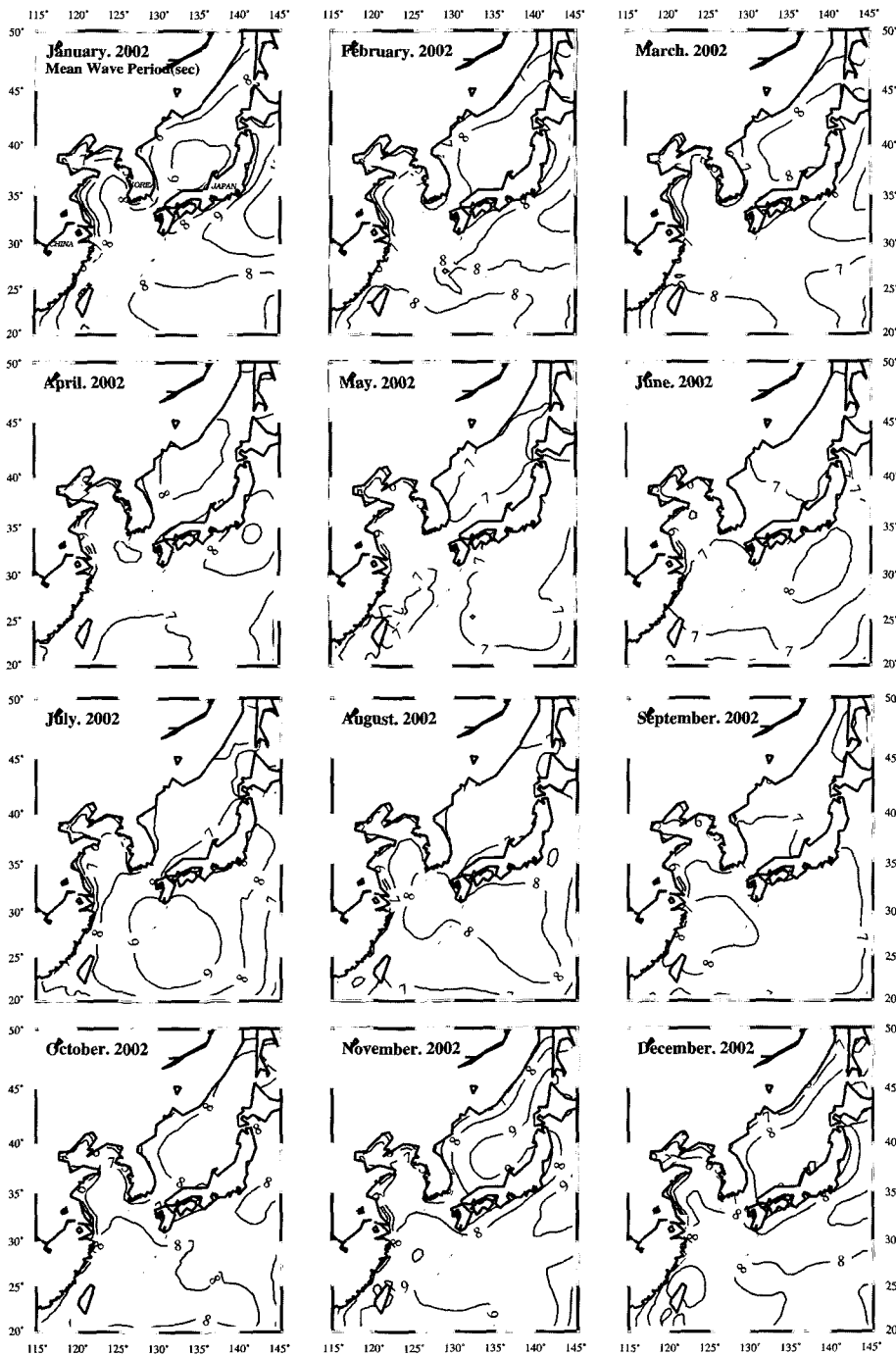


Fig. 11. The same as Fig. 7 except for mean wave periods.

양질의 해상풍 및 파랑자료를 축적할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 민군겸용기술 사업의 “체계운용을 위한 가상해양환경 분석기술”과제와 기상청에서 시행하는 기상지진기술 개발 사업의 하나인 “해양기상변화 탐지기술개발”과제에서 수행된 것입니다.

본 논문을 세심하게 심사해 주신 심사자 두 분과 이재학 편집위원님께 감사드립니다.

참고문헌

Bauer, E., S. Hasselmann, K. Hasselmann, and H. C. Graber, 1992. Validation and assimilation of seasat altimeter wave heights using the WAM wave model. *J. Geophys. Res.*, **97C**: 12671–12682.  
 Bouws, E., and G. J. Komen, 1983. On the balance between growth and dissipation in an extreme depth-limited wind-sea in the southern North Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, **13**: 1653–1658.  
 Crosby, D. S., L. C. Breaker and W. H. Gemmill. 1993. A Proposed Definition for Vector Correlation in Geophysics: Theory and Application. *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, **10**: 355–367.

- Cavaleri, L., L. Bertotti and P. Lionello, 1988. Evaluation of the impact of the availability of wind fields in the Mediterranean Sea - final report, ESA-ESRIN study contract 7458/88 HGE-I, *European Space Agency*, 66p.
- Ebuchi, N. and H. Kawamura, 1994. Validation of wind speeds and significant wave heights observed by the TOPEX altimeter around Japan. *J. Oceanogr.*, **50**: 479-487.
- Gower, J. F. R., 1996. Intercomparison of wave and wind data from TOPEX/POSEIDON. *J. Geophys. Res.*, **99C**: 25051-25062.
- Hellerman, S., and M. Rosenstein, 1983. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates. *J. Phys. Oceanogr.*, **13**: 1093-1104.
- Kalnay, E., et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Na, J. Y., J. W. Seo and S. K. Han, 1992. Monthly-mean sea surface winds over the adjacent seas of the Korea Peninsula. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **27**(1): 1-10.
- Hwang, P. A., Bratos, S. M., Teague, W.J., Wang, D. W., Jacobs, G. A. and Resio, D. T., 1999. Winds and waves in the Yellow and East China Seas: A Comparison of spaceborne altimeter measurements and model results, *J. Oceanogr.*, **55**: 307-325.
- Romeiser, R., 1993. Global validation of the wave model WAM over a one year period using Geosat wave height data. *J. Geophys. Res.*, **98C**: 4713-4726.
- Tolman, H. L., 1989. The numerical model WAVEWATCH: a third generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas. *Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*, Delft Univ. of Techn., ISSN 0169-6548, Rep. **89-2**: 72 pp.
- Tolman, H. L., 1991. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents. *J. Phys. Oceanogr.*, **21**: 782-797.
- Tolman, H. L., 1992. Effects of numerics on the physics in a third-generation wind-wave model. *J. Phys. Oceanogr.*, **22**: 1095-1111.
- Tolman, H. L., 1999. User manual and system documentation of WAVEWATCH-version 1.18. *Technical Note, NCAR NWS Ocean Modeling Branch*: 110 pp.
- Yamada, T., 1976. On the similarity functions A, B and C of the planetary boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, **33**: 781-793.
- Zambresky, L., 1989. A verification study of the global WAM model. December 1987-November 1988. *ECMWF Tech. Rep.* **63**, ECMWF, Reading United Kingdom: 86 pp.

---

2003년 2월 3일 원고접수

2003년 6월 30일 수정본 채택

담당편집위원: 이재학