

동해안 이상 너울 추산에 관한 고찰

김태림* · 이강호*

*군산대학교 해양과학대학

Examinations on the Wave Hindcasting of the Abnormal Swells in the East Coast

TAE-RIM KIM* AND KANG-HO LEE*

*College of Ocean Science and Technology, Kunsan University, Kunsan, Korea

KEY WORDS: Swell 너울, Simulating wave nearshore(SWAN) 연안 파랑 모델 Seawind 해상풍 Forecasting 예보 Significant wave height 유의파고

ABSTRACT: Abnormally large swells that appeared on the coast of the East Sea in October in 2005 and 2006 were simulated using SWAN model to examine the accuracy of the model for future forecasting. Seawind data calculated based on the weather chart and bottom topography were used for input data, and the model was operated more than 20 days before the observed swells to avoid the problems from the cold start of the model. The comparisons with observed wind and wave data were unsatisfactory and needed more improvement in terms of swell component in the wave model as well as the quality of seawind data. The satellite wind and wave data can be good candidates for future comparison of the wave model results in the East Sea.

1. 서 론

최근 늦가을에 동해안에서 이상 너울에 의한 인명 및 사고 피해가 자주 발생하고 있으며(2005년 및 2006년 10월 말에 발생) 2008년에는 2월말에 너울성 파고가 내습하여 피해를 발생시켰다(Fig. 1). 해안에서의 예기치 않은 큰 파고의 내습은 인명 피해 뿐만 아니라 진행 중인 해안 공사에도 큰 피해를 주는 경우가

많다. 1997년 11월 25일에 서귀포항 공사 중에 남쪽으로부터 전 파된 큰 파고는 북서풍이 우세한 겨울철에 예외적으로 발생하였다(김태림 등, 2000). 북서파가 일반적인 겨울철에 공사가 이루어지는 서귀포 항과 같은 남향 계열의 항구는 공사 중에 큰 피해를 입었다. 2008년 5월 4일에 보령 해안의 남포 방조제에 발생한 이상 고파는 9명의 인명 손실을 발생 시켰으며 아직 그 원인이 명확히 밝혀지지 않은 상태이다. 태풍이나 폭풍 시 발생하는 파랑에 비하여 보령 사고의 경우와 같이 좋은 기상 상태에서 갑작스럽게 발생하는 이상 파랑은 최근에 빈번히 이루어지는 연안 공사와 활발한 레저 활동을 감안할 때 상대적으로 큰 피해를 야기할 수 있으며 이에 대한 대책 마련이 시급하다. 동해안의 너울 피해의 경우도 좋은 기상 상태에서 발생한 경우가 많으며 이에 대한 보다 정확한 파랑 예보가 이루어지지 않으면 향후 계속적인 피해가 발생할 수 있다.

서해안에서 발생한 이상 고파의 원인에 대한 불명확성에 비하여 동해안에서의 이상 파고는 여러 관측 자료의 분석을 통하여 너울 성분에 의한 것으로 규명되었다(정원무 등, 2007; 정복진 등, 2008; 정원무 등, 2008). 정원무 등(2007)은 2006년 10월 말에 동해안에 발생한 이상 고파를 관측한 5개 지점의 바람 자료와 파랑 자료로부터 동해상에 발달한 온대성 저기압의 영향으로 생성된 동해선풍이 너울의 진행방향과 동일한 방향으로 지속적으로 강하게 불어 높은 파고의 너울을 발생시켰다고 추론하였다. 이렇게 동해안에서 발생한 너울의 유의 파고는 5m~9m에 이르며 인명 피해는 물론 동해안 백사장 침식, 해안 도로 유실 그리고 해안 군부대의 구조물 유실에 큰 영향을 주어서 경제적 손실

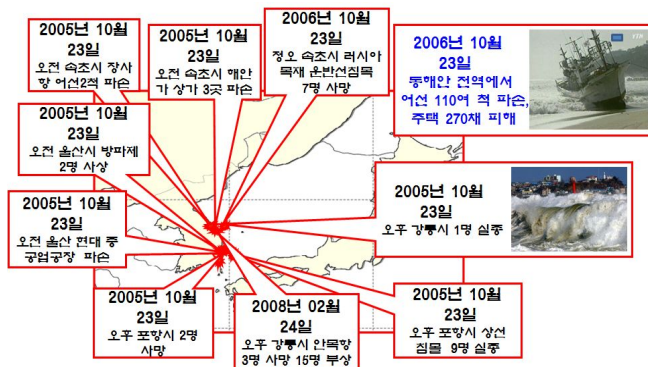


Fig. 1 Accident locations caused by abnormal swells on the East coast of Korea

교신저자 김태림: 전북 군산시 미룡동 산 68

063-469-1865 trkim@kunsan.ac.kr

을 발생시키고 있다. 특히 동해안의 다수의 어항과 해상 수송량을 고려할 때 이러한 이상 너울에 대한 연구와 정확한 예보가 절실하다. 그러나 현재의 파랑예보는 바람에 의한 풍랑에 중점을 두고 있으며 너울과 같은 파의 전파와 천해에서의 파의 변형에 대해서는 연구와 예보가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동해안에서 이상 너울이 발생한 2005년과 2006년 10월 말에 대한 파랑 추산과 파랑 관측 자료와의 비교를 통하여 그 문제점을 분석하고 향후 개선 방향을 논하고자 한다.

2. 파랑 모델의 수행

현재 중규모 혹은 전 지구적인 규모와 같이 광범위한 해역에 대하여 파랑을 예보하는 경우에는 파랑 스펙트럼 형태에 대한 가정 없이 파작용 평형 방정식을 계산하는 제3세대 파랑 모델을 수행하고 있다. 그 대표적인 모델로 WAM 모델(WAMDI Group, 1988)이 있으며 최근에는 보다 발전된 형태의 WAVEWATCH III(Tolman, 1999a)이 많이 사용되고 있다. 위의 모델들은 모두 심해파의 발달과 전파를 다루는 모델로서 천해 효과는 포함하지 않고 있다. SWAN(Simulating waves nearshore, Booij et al., 1999) 모델은 천해에서의 파랑 예보를 위하여 개발된 모델로서 천수 효과, 굴절 효과 그리고 바닥으로 부터의 마찰로 인한 에너지 감쇄 효과를 포함하고 있으며 파랑의 발달 과정에 대한 원천항은 3세대 모델인 WAM 모델과 동일한 식을 사용하고 있다. 또한 양해법을 사용한 WAM 모델과는 달리 음해법을 사용함으로써 비록 대규모 해역의 파랑 예보에는 비효율적이나 복잡한 해안과 지형을 표현하기 위하여 소규모의 격자에서 모델 수행이 필요한 천해역에서는 효과적이다. 일반적으로 광범위한 해역에 대하여 WAM 모델을 수행한 후 그 결과를 경계조건으로 하여 천해역에서 다시 집합 모형(Nested model)으로 SWAN 모델을 수행하지만 본 연구에서는 동해라는 비교적 작은 규모의 폐쇄적인 해역을 감안하여 동해 전체에 대하여 SWAN 모델만을 단독으로 수행하였다.

2.1 SWAN 모델

천해에서의 파랑 예보를 목적으로 구성된 SWAN 모델은 해저 지형과 해류의 공간적인 변화로 인한 파의 굴절과 천수 효과를 포함하고 있으며 파의 전파 방향에 역류하는 해류에 의한 파의 반사와 차단 효과, 구조물에 의한 반사와 전파, 쇄파 그리고 일부 회절 효과를 나타낼 수 있다. 식 (1)은 모델의 기본 방정식으로서

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

여기서, N 은 파작용 밀도(Wave action density), c_x , c_y 는 x , y 공간에서 N 의 이동 속도, c_σ 와 c_θ 는 각각 σ 와 θ 공간에서의 N 의 속도를 나타내며 수심과 흐름의 변화로 인한 상대 주파수의 변화와 굴절 효과를 포함하고 있다. 이 때 N 은 식 (2)

에서와 같이 파에너지 밀도(Wave energy density)를 상대 주파수로 나눈 값을 나타낸다.

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (2)$$

식 (1)의 우변항의 S_{tot} 는 아래 식 (3)과 같으며 천해에서의 파의 성장과 소멸에 관련된 항들을 포함하고 있다.

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nb3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (3)$$

여기서, S_{in} 은 바람에 의한 파의 성장, S_{nb3} 와 S_{nl4} 은 삼파(Three-wave)와 사파(Four-wave) 상호 작용을 통한 파랑 스펙트럼 성분 간의 비선형 에너지 전달, $S_{ds,w}$ 는 백파(Whitecapping)에 의한 에너지 소실, $S_{ds,b}$ 와 $S_{ds,br}$ 는 각각 바닥 마찰과 수심으로 인한 쇄파에 의한 에너지 소실을 나타낸다. SWAN 모델을 수행하면 각 격자에서 파랑 에너지 밀도가 계산되며 이 에너지 밀도로 부터 아래와 같이 유의파고(H_s), 평균 파향(Dir), 평균 파주기(T_m)가 계산되어 진다(The SWAN team, 2008).

$$H_s = 4 \sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \quad (4)$$

$$Dir = \arctan \left[\frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right] \quad (5)$$

$$T_m = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1} \quad (6)$$

2.2 파랑 모델 입력 자료

본 연구에서 사용한 격자 시스템은 가로 세로 각각 10km인 직교 직선 등방 격자 체계로서 135x218개의 계산 격자로 형성된다. 파향은 동일한 10° 간격으로 모든 방향에 대하여 36개의 성분으로 나누어져 계산되며 주파수는 0.0464Hz에서 1.0Hz까지 32개의 성분으로 나누어진다. 이때 주파수 간격은 로그 함수를 이용하여 나누어지므로 일정하지 않으며 저주파수대에서는 주파수 간격이 작게 고주파대에서는 그 간격이 크게 이루어져 있다(The SWAN team, 2008). 입력 조건에서 수심에 의하여 제한되는 쇄파와 JONSWAP(Hasselmann et al., 1973) 결과를 이용한 바닥 마찰 효과도 고려하였으며 이때 사용된 계수는 초기 모델에서 설정된 값을 사용하였다. 그리고 계산된 결과는 동일한 크기의 격자에서 30분 간격으로 출력되도록 하였다.

파랑 모델 수행에 있어서 가장 중요한 입력 요소는 바람 자료이다. 일기도 자료를 이용하여 계산된 해상풍은 해상으로부터 10m 상의 풍속과 풍향으로서 파랑 모델의 각 격자에서 일정한 시간 간격으로 입력되게 된다. 지금까지 우리나라에서 SWAN 모델을 적용하는 경우 대부분 태풍시의 파랑 상태를



Fig. 2 Location map of measurement stations

추정 하였다. 김지민 등(2007)은 태풍의 중심기압과 최대풍속 반경 등을 이용하여 태풍 존재시의 해상풍을 산출하였고 이경선 등(2007)은 태풍의 눈 주변의 기압 경도를 이용하여 해상풍을 산출한 후 그 결과를 파랑 모델의 입력 자료로 활용하였다. 태풍의 눈이 위치하는 격자에서의 중심 기압과 최대 풍속 반경 등과 같은 몇 개의 변수를 이용하여 간단하게 모의 되는 태풍과는 달리 일반적인 저기압 통과시의 해상풍의 계산은 모든 격자에서의 기압, 기온 등 복잡한 입력 자료와 계산을 필요로 한다(Cardone, 1969). 또한 해상에서의 관측 자료의 부족은 그 정확도를 향상시키는데 많은 어려움을 주고 있다. 본 모델에서 입력 자료로 사용된 해상풍은 기상청 현업 예보용 모델인 RDAPS/KMA(Regional Data Assimilation and Prediction System/Korea Meteorological Administration)로부터 우리나라 주변 해역에 대하여 3시간 간격으로 산출된 자료를 활용하였다(기상청, 2006). 이 때 제공된 해상풍은 1/12°의 등방 격자로 형성되어 있으며 파랑 모델의 입력 자료로 사용하기 위하여 파랑 모델의 격자와 동일하게 선형 보간 한 후 입력하였다.

본 연구에서는 2005년 10월 23일과 2006년 10월 23일에 발생한 너울 피해 기간에 대한 파랑 모델을 수행하였으며 모델 수행 초기의 해상 상태의 영향을 최소화하기 위하여 10월 1일부터 계산된 해상풍 자료를 입력하여 10월 전체에 대한 파랑 계산을 하였다. SWAN 모델과 같은 천해파랑 예보 모델인 경우 외부 경계에서 파랑 입력 자료는 매우 중요하다. Rogers et al.(2007)은 남쪽 캘리포니아 해안에 대한 SWAN 모델 수행 결과를 부이 관측 자료와 비교한 결과 외부 경계에서의 파랑 입력 조건의 정확도가 천해 파랑 모델의 수행에 있어서 매우 중요한 요소임을 지적하였다. 동해의 경우 현재 동해 내부에서 파고 관측이 이루어 지지 않고 있어 이러한 외부 경계 입력 자료가 전무한 상태이나 동해가 대륙과 섬으로 둘러싸여 외해로부터의 영향이 적은 폐쇄 해양에 가깝다는 가정 하에 외부 입력 자료를 활용하거나 혹은 WAM과 같은 대양 심해파랑 모델을 수행하여 외부 경계 조건을 제공하는 집합 모형 형태를 취하지 않고 SWAN 모델만을 전체 해역에 대하여 수행하였다. SWAN 모델은 심해 파랑 모델에서 사용하는 파랑의 발생과

Table. 1 Locations of measurement stations

Station	Latitude	Longitude	Anemometer Height [m]
Ssangjeongcho	N37°33 ' 15 "	E130°56 ' 32 "	16
Donghae Buoy	N37°32 ' 39 "	E130°00 ' 00 "	5
Wangdolcho	N36°42 ' 36 "	E129°44 ' 24 "	16

전파 기법을 사용하면서 천수, 굴절과 같은 천해 효과도 포함하고 있다. 따라서 동해 및 동해 연안의 수심도 입력 자료로 필요로 한다.

2.3 파랑 관측 자료

해상풍 자료와 파랑 모델 수행 결과를 실제 관측 자료와 비교하기 위하여 기상청이 기상 예보와 항만 운영 등을 위하여 동해에서 운영하고 있는 동해 부이와 한국 해양 연구원이 쌍정초와 왕돌초에 설치한 실시간 관측소의 자료를 활용하였다(해양수산부, 2006). 관측 지점의 각각의 위치는 Fig. 2 및 Table 1과 같으며 관측 자료로부터 비교 가능한 자료는 풍향, 풍속 그리고 유의 파고로서 그 시간에 따른 변화를 각각 비교하였다.

동해 부이의 경우 풍속/풍향은 10분 평균 자료로서 1시간 간격으로 관측되며 파고는 부이에 부착된 가속도 센서를 이용하여 17분간 관측된 자료로부터 유의 파고를 역시 1시간 간격으로 제공하고 있다. 쌍정초와 왕돌초의 경우에는 풍속/풍향 자료가 10분 간격으로 10분 평균자료로 제공되고 있으며, 파고 관측은 공중 발사형 초음파 센서(DCU 1104)를 사용하고 있다(해양수산부, 2006). 바람 관측 자료는 관측 높이에 따라 다르게 나타나므로 해상 10m 높이를 기준으로 산출된 해상풍과 비교하기 위해서는 10m 높이의 풍속으로 변환 하여야 한다. 본 연구에서 사용한 바람 관측 기기의 높이(Anemometer height)는 각각 Table 1과 같다(정진용 등, 2008). 변환을 하기 위하여 사용한 식은 오현미와 하경자(2005)가 이어도 기지의 44m의 기상 관측 타워에서 관측된 바람을 해상 기상 특성 분석을 위하여 10m 해상의 표준 바람으로 변환한 식을 사용하였다. 이와 동일한 식을 이용하여 정진용 등(2008)은 Quikscat위성에서 관측한 바람을 검증하기 위하여 우리나라의 주변 해역에서 관측된 바람을 10m 해상의 바람으로 변환하여 사용하였으며 식은 아래와 같다(de Rooy and Kok, 2004; 오현미와 하경자, 2005).

$$U_{10m} = U_{Hm} \frac{\ln \frac{10}{z_0}}{\ln \frac{H}{z_0}} \quad (7)$$

이때 U_{10m} , U_{Hm} 는 각각 해상 10m와 관측 기기의 높이 H_m 에서의 풍속을 나타내며 z_0 표면 조도 길이로서 해수 표면의 거칠기 길이를 나타내는데 오현미와 하경자(2005)와 정진용 등(2008)이 우리나라 연안에서 사용하였던 5×10^{-4} m값

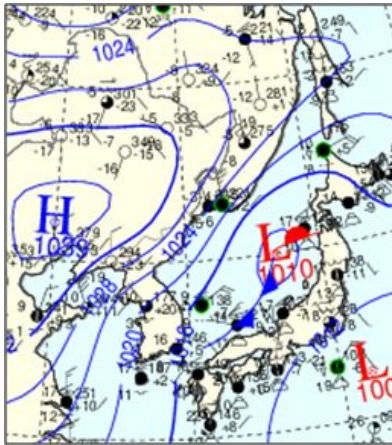


Fig. 3 Weather map for 21 October 2005 at 9 Pm

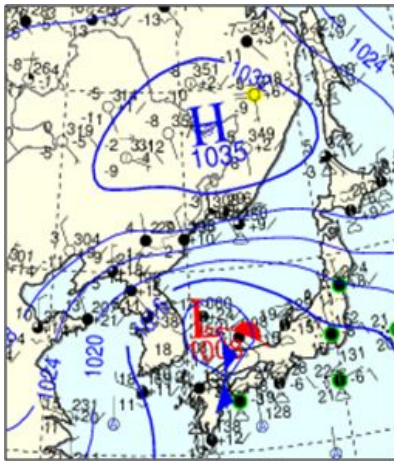


Fig. 4 Weather map for 23 October 2006 at 9 Am

을 사용하였다. 또한 2005년도 및 2006년도 모두 너울 피해가 가장 컸던 23일을 전후하여 20일부터 25일까지의 결과를 비교하였다.

3. 파랑 모델의 수행 결과

2005년도 및 2006년도 동해안 너울 피해 당시의 일기도를 보면 Fig. 3과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 모두 서해상으로부터 이동해온 저기압 중심이 우리나라를 통과한 후 동해로 빠져 나감을 알 수 있다. 특히 2006년도의 경우는 저기압 중심이 2005년도에 비하여 보다 남쪽에 위치하고 있으며 일본 연안을 거쳐 동해를 빠져 나갔다. 이러한 일기도를 바탕으로 계산된 해상풍을 이용하여 SWAN 파랑 수행 모델을 수행한 결과는 각각 Fig. 5와 Fig. 6과 같다. 각각 20일부터 25일까지의 결과 중 여섯 개의 시간대만을 도시한 것으로서 2005년도의 경우 (Fig. 5) 동해 중부 북부 해역에서 발달한 높은 유의파고의 해역이 동해 연안과 일정한 거리를 두고 점차 남쪽으로 이동하면서 그 에너지가 넓은 해역으로 분산 되는 것을 볼 수 있다.

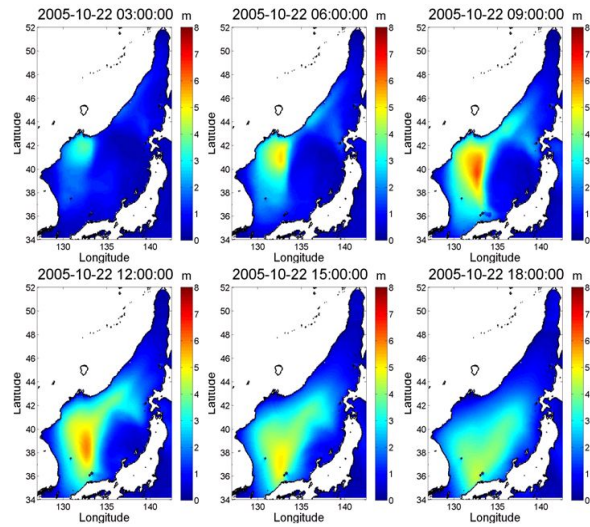


Fig. 5 Hindcast of significant wave height distributions during October in 2005

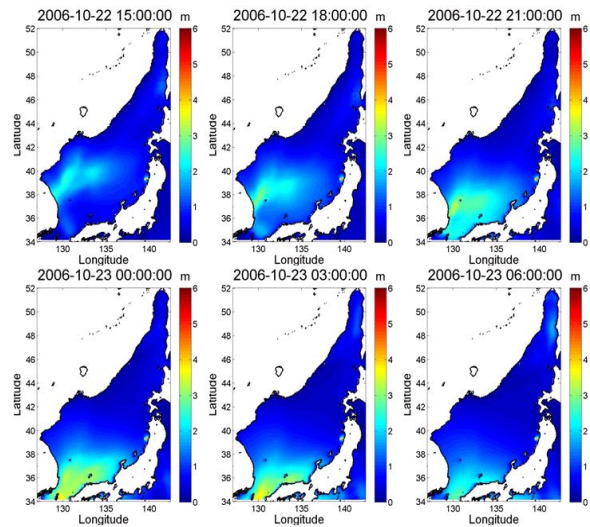


Fig. 6 Hindcast of significant wave height distributions during October in 2006

2006년도의 경우에는(Fig. 6) 2005년도의 경우에서와 같이 높은 밀도의 높은 유의파고 해역은 나타나지 않았지만 마찬가지로 동해 연안을 따라서 남쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 파랑 모델의 입력 자료로 사용한 바람자료를 살펴보면 2005년도와 2006년 모두 동해 북쪽 연안의 높은 파고 해역은 긴 풍역대의 강한 북동풍에 의하여 생성되며 이 풍역대가 남쪽으로 이동함에 따라 높은 파고의 해역도 같이 이동하는 것을 알 수 있다. 모델에서의 유의 파고는 식 (4)에서 보는 바와 같이 전체 파랑 에너지의 합을 이용하여 계산되어 지므로 높은 유의 파고의 해역은 파랑 에너지가 높은 해역을 의미하고 이 해역으로부터 파향과 주파수에 따라 각 방향으로 분산되게 되며 너울과 같이 주파수가 짧은 파랑의 경우 먼저 해안에 도달하게 된다. Fig. 7과 Fig. 9는 해양에서 각기 다른 높이에서 관측된 풍속을

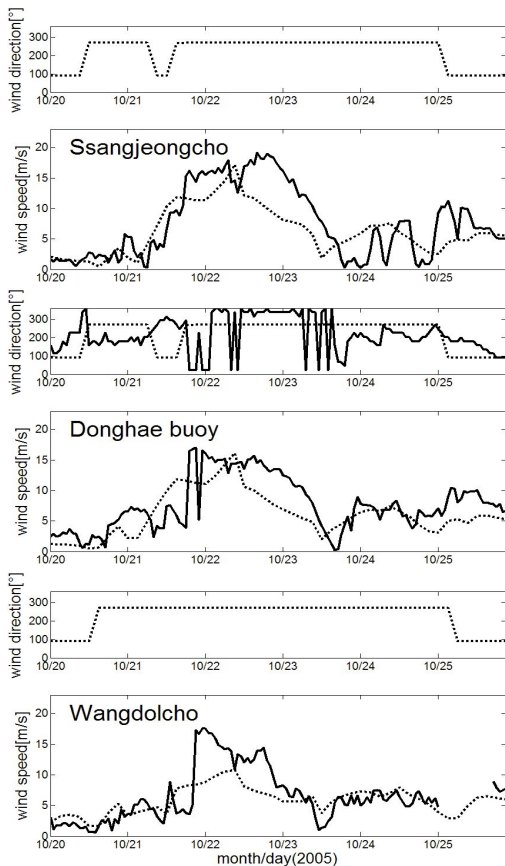


Fig. 7 Comparison of time series of wind speed and directions between seawind model data (dotted line) and observation data (solid line) in 2005

10m 해상 의 풍속으로 변환한 값을 모델에서 계산된 해상풍과 비교한 그림으로서 풍향의 경우 북풍을 360°, 동풍을 90°, 남풍을 180°, 서풍을 270°로하여 22.5°간격으로 나타낸 것이다. 2005년도 10월 모델 해상풍의 경우 풍속이 대체적으로 관측치와 비슷한 경향을 보이고 있으나 강한 풍속이 관측되는 시기에는 다소 낮게 해상풍이 계산되었다(Fig. 7). 파고의 경우에는 3개의 관측 장소에서 모두 낮게 계산되었으며 특히 쌍정초와 왕돌초의 경우 관측 파고에 비하여 약 3m 정도 낮게 추산되었고 파고의 변화가 심한 관측치에 비하여 완만한 파고 증가와 감소를 보였다. 또한 가장 높은 파고가 도달 되는 시간이 하루 정도 늦게 나타나는 것으로 계산되었다(Fig. 8). 2006년도 10월 자료의 비교에서는 해상풍의 경우 동해 부이의 계산 값은 관측값과 비슷한 경향을 보이는 반면 쌍정초와 왕돌초에서는 10m/sec 이상의 풍속이 관측되는 경우 모델 결과는 관측치에 비하여 현저히 낮게 나타났다(Fig. 9). 파고의 경우 3개의 관측 장소 모두 관측치 보다 현저히 낮은 파고 계산 결과를 보여 주고 있으며 최고 파고의 경우 2005년도의 경우와 마찬가지로 3m 정도 낮게 추산되고 있다. 특히 모델의 경우 최고 파고가 출현하는 시간은 2005년도와는 달리 하루 이상 일찍 나타나는 것으로 계산되었으며 관측치와 비교하여 볼 때 시간에 따른 파고 변화가 심하지 않았다(Fig. 10).

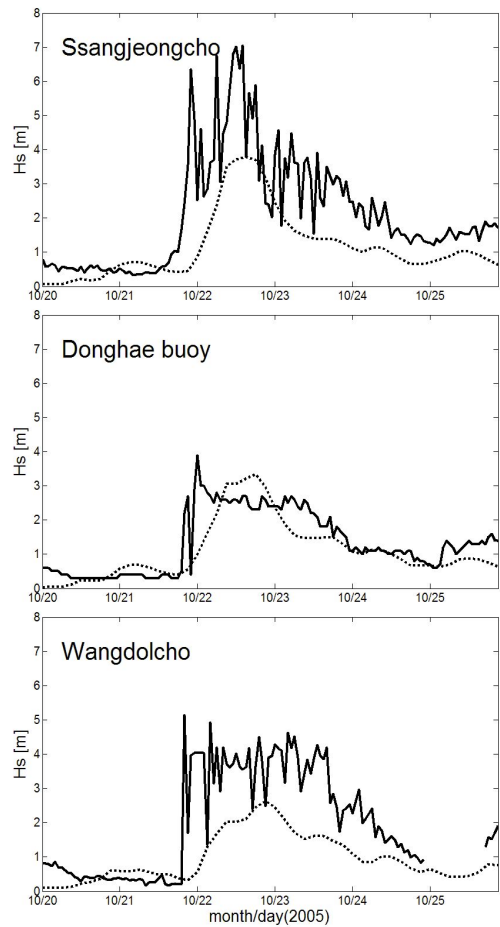


Fig. 8 Comparison of time series of significant wave heights between SWAN model results (dotted line) and observation data (solid line) in 2005

4. 결 론

2005년도와 2006년도 10월에 동해안에서 피해를 발생시킨 너울에 대한 모델 수행 결과 현재의 자료와 모델이 동해에서 발생하였던 너울을 정확하게 계산하지 못하는 것으로 나타났다. 최근에 해마다 발생하는 동해안 너울 피해를 감안할 때 이에 대한 연구와 보완대책이 시급하다. 파랑 모델 계산 결과의 정확도를 높이는데 있어서 가장 중요한 입력 자료는 해상풍 자료이다. 현재 우리나라의 경우 해상풍에 대한 연구가 많이 이루어지지 않고 있으며 동해 연안 외에는 동해에서 계산된 해상풍 자료를 검증할 만한 관측 자료가 부재한 실정이다. 기상관련 학자들과의 공동 연구를 통하여 관측 실험과 보다 정확한 해상풍 모델 개발이 필요하다. 최근의 저기압 통과에 따른 너울의 발생은 태풍시외에도 파랑에 대한 정확한 예보를 필요로 하고 있다. 너울에 대한 파랑 모델의 부정확성은 바람 자료의 부정확도에도 기인하지만 모델 자체에서도 너울 수행에 있어서 문제점이 있는 것으로 사료된다. 최고 유의 파고가 관측 결과에 비하여 낮게 계산되는 문제 외에도 최고 유의 파고가 출현하는 시기가 실제 관측 시기보다 1일정도 전후로 예

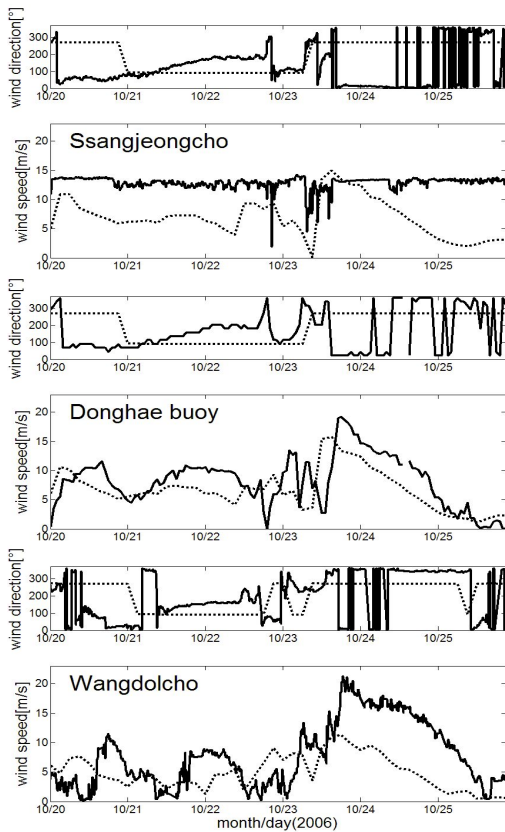


Fig. 9 Comparison of time series of wind speed and directions between seawind model data(dotted line) and observation data(solid line) in 2006

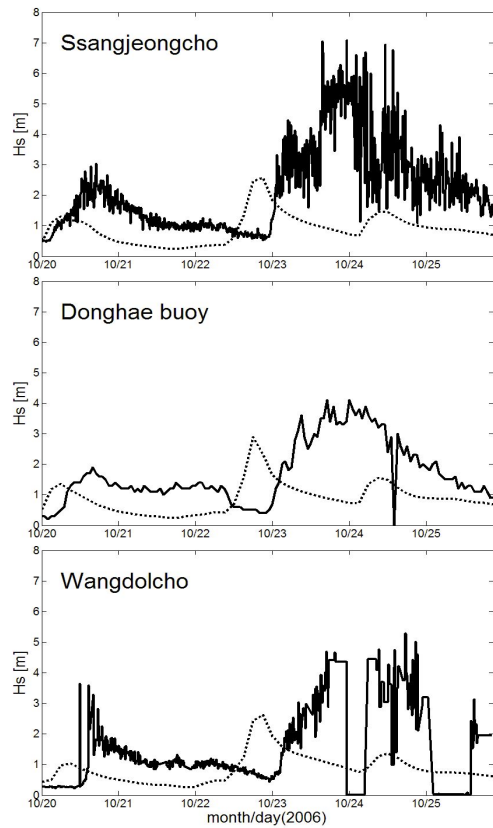


Fig. 10 Comparison of time series of significant wave heights between SWAN model results(dotted line) and observation data(solid line) in 2006

보 된다는 것은 큰 문제점으로 지적된다. 이는 그 경향이 관측치와 비슷한 해상풍 결과에 비추어 볼 때 너울의 전파와 발생이 제대로 구현되지 않는 것으로 볼 수 있다. Ou et al.(2002)도 타이완을 통과한 여러 태풍에 대하여 SWAN 모델 결과를 관측치와 비교한 결과 너울을 제대로 나타내지 못함을 지적한 바 있다. 매우 정확한 해상풍 모델 결과를 입력 자료로 사용하여 파랑 모델을 검증해 나가는 것이 가장 바람직한 방법이지만 아직은 이러한 접근 방법은 어려운 것으로 생각되며 해상풍 모델의 정확도 향상에 대한 노력과 동시에 파랑 모델의 개선 작업이 함께 이루어져야 할 것이다.

5. 향후 계획

최근의 인공위성을 이용한 원격 관측 방법은 특히 현장 관측이 어렵고 항상 유동적인 해양에서 동시에 넓은 해역의 자료를 획득하는데 큰 기여를 하고 있으며 기상과 해양 관련 수치 모델의 결과를 검증하는데 많이 사용되고 있다. 현재 해상풍의 경우 우리나라 주변해역에서 관측된 QuickSCAT 자료를 해양 부이나 실시간 관측소 자료와 비교·검증하고 있으며(정진용 등, 2008) 또한 해상풍 모델 결과를 QuickSCAT 관측 결과와 비교·검토 하고 있다(유승협 등, 2007). 파랑의 경우에

도 위성 관측이 가능한 고도계(Altimeter), 산란계(Scatterometer) 그리고 합성 개구 레이더(Synthetic aperture radar) 자료 등을 이용하여 동해 먼 해상에서의 해상풍의 입력 자료와 파고 계산값에 대한 검증이 필요하며 이러한 위성 관측 자료를 활용함으로써 공간적인 파랑의 전파 과정에 대한 연구도 동시에 필요하다. 또한 향후 보다 정확한 너울 예보를 위해서는 정확한 해상풍 예보 외에도 관측 결과와 모델결과와의 시간에 따른 파랑 스펙트럼을 비교함으로써 주파수간의 에너지 전파를 분석하는 것이 필요하다. 현재 운영 중인 많은 파랑 관측소에서는 시간에 따른 유의 파고만을 관측하는 경우가 많으며 파랑 스펙트럼 분석이 가능한 관측이 이루어지는 곳은 많지 않다. 특히 너울 등의 전파 방향을 관측하기 위한 파랑 스펙트럼 분석이 가능한 파랑 관측은 매우 적은 편이다. 현재 운영 중인 대부분의 파랑 예보 모델이 파랑 스펙트럼을 근간으로 이루어진 것을 감안할 때 이에 대한 관측과 분석이 필요하다.

후 기

본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2008-2311)의 지원으로 수행되었습니다. 이 논문을 심사하시고 많은 조언을 해주신 두 분의 심사 위원님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 기상청 (2006). 해양 기상 변화 탐지 기술 개발(IV), 기상연구소, MR053M16 2002M-004-00.
- 김지민, 허동수, 김창훈, 김도삼 (2007). "지형을 고려한 해상풍 모델(MASCON)과 SWAN 모델의 결합에 의한 천해파랑 선정", 한국해양해양공학회지, 제19권, 제1호, pp 57-65.
- 김태림, 전기천, 박광순, 김상익 (2000). "겨울철에 발생한 이상남파 관측", 한국해양해양공학회지, 제12권, 제1호, pp 11-18.
- 오현미, 하경자 (2005). "2003-2004년도 이어도 기지 해상 기상 특성 분석", 한국기상학회지, 제41권, 제5호, pp 467-475.
- 유승협, 조재갑, 서장원 (2007). "기상청 현업 모델 RDAPS와 QuickSCAT 해상풍 자료의 비교", 한국해양해양공학회지, 제19권, 제5호, pp 467-475.
- 이경선, 김경태, 류경로 (2007). "태풍의 풍향특성을 고려한 천해파 산정에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제21권, 제1호, pp 1-6.
- 정복진, 여운광, 이종국, 박광순 (2008). "우리나라 연안의 너울성 파도 분석과 원인 규명 방법", 2008년도 한국 해양과학기술협회의 공동학술대회, pp 2448-2450.
- 정원무, 오상호, 이동영 (2007). "동해안에서의 이상 고파", 한국해양해양공학회지, 제19권, 제4호, pp 295-302.
- 정원무, 오상호, 류경호, 김태인 (2008). "2008년 2월 동해안 이상 고파의 특성", 2008년도 한국 해양과학기술협회의 공동학술대회, pp 2480-2483.
- 정진용, 심재철, 이동규, 민인기, 권재일 (2008). "한반도 연안에서의 12.5 km 해상도 QuickSCAT 해상풍 검증", Ocean and Polar Research, 제30권, 제1호, pp 47-58.
- 해양수산부 (2006). 해양관측 및 예보 시스템, 제 1부 해양 관측 시스템 개발, 한국해양연구원, BSPM 3780-1880-1.
- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). "A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation", J. Geophys. Res., Vol 104, pp 7649-7666.
- Cardone, V.J. (1969). Specification of the Wind Distribution in the Marine Boundary Layer for Wave Forecasting, Report TR-69-01, Geophysical Sciences Laboratory, New York University.
- de Rooy, W. and Kok, K. (2004). "A Combined Physical-Statistical Approach for the Downscaling of Model Wind Speed", Weather and Forecasting, Vol 19, pp 485-495.
- Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Muller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W. and Walden, H. (1973). "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project(JONSWAP)", Dtsch. Hydrolgr. Z. Suppl., Vol(12), A8.
- Ou, S.H., Liau, J.M., Hsu, T.W. and Tzang, S.Y. (2002). "Simulating Typhoon Waves by SWAN Wave Model in Coastal Waters of Taiwan", Ocean Engineering, Vol 29, pp 947-971.
- Rogers W.E., Kaihatu, J.M., Hsu, L., Jensen, R.E., Dykes, J.D. and Holland, K.T. (2007). "Forecasting and Hindcasting Waves with the SWAN Model in the Southern California Bight", Coastal Engineering, Vol 54, pp 1-15.
- Tolman, H.L. (1999a). User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III Version 1.18. NOAA/ NWS/ NCEP/ OMB Technical Note 166, 110 pp.
- The SWAN team (2008). SWAN Cycle III Version 40.72 Technical Documentation.
- WAMDI Group (1988). "The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model", Journal of Physical Oceanography, Vol 18, pp 1775-1810.

2008년 11월 5일 원고 접수

2008년 12월 5일 최종 수정본 채택