

## SWAN 모델을 이용한 제주해역 장기 파랑분포 특성 연구

류황진<sup>1</sup> · 홍기용<sup>2,+</sup> · 신승호<sup>2</sup> · 송무석<sup>1</sup> · 김도영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>홍익대학교 조선해양공학과

<sup>2</sup>한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양개발시스템연구본부

## Analysis of Long-Term Wave Distribution at Jeju Sea Based on SWAN Model Simulation

Hwangjin Ryu<sup>1</sup>, Keyyong Hong<sup>2,+</sup>, Seung-Ho Shin<sup>2</sup>, Museok Song<sup>1</sup> and Do Young Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Naval Architecture & Ocean Engineering, Hongik University, Chochiwon-Up, Yeongi-Gun, Chungcheongnam-Do 339-701, Korea

<sup>2</sup>Ocean Development System Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KORDI, Jang-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

### 요 약

제주해역의 장기 파랑분포 특성을 제3세대 파랑모델인 SWAN 모델에 의한 시뮬레이션을 통해 고찰하였다. 제주해역은 한국 연안에서 파랑에너지 밀도가 상대적으로 큰 해역으로 파력발전에 적합한 후보지이며, 파력발전 효율은 해역의 파랑특성 인자들에 밀접히 연관되어 있다. 파랑분포는 한국해양연구원의 광역 장기 파랑추산 자료의 월평균 파랑특성을 경계조건으로 1 km 격자의 SWAN 모델 시뮬레이션을 통해 획득하였으며, 파랑분포 해석은 유의파고, 평균 파향, 평균 파주기의 계절적·공간적 변화특성 고찰을 주목적으로 하였다. 유의파고는 겨울과 여름이 우세하며, 지역적으로는 제주도의 서쪽이 동쪽에 비해 유의파고가 높다. 유의파고의 최고치는 겨울에 북서쪽 해역에서 발생하며, 여름철의 남동쪽 해역이 다음으로 우세하고, 봄가을은 전체적으로 파고가 낮으나 분포가 비교적 균일하다. 파향의 분포는 회절의 영향을 받는 배후지역을 제외하면, 여름에는 북서 방향이 지배적이고, 겨울에는 남동 방향이 지배적이다. 파주기는 여름과 겨울철에 길고, 동쪽에 비해 서쪽 해역에서 길게 나타난다. 파주기의 최대치는 겨울에 서쪽 해역에서 발생하고, 여름에는 남쪽 해역의 파주기가 다소 우세하나 비교적 균일한 분포를 갖는다.

**Abstract** – Long-term wave distribution at Jeju sea is investigated by a numerical simulation based on the third-generation wave model SWAN (Simulating WAVes Nearshore). The Jeju sea which retains relatively high wave energy density among Korean coastal regions is considered to be a suitable site for wave power generation and the efficiency of wave power generation is closely related to local wave characteristics. The monthly mean of a large-scale long-term wave data from 1979 to 2002, which is provided by Korea Ocean Research & Development Institute, is used as the boundary condition of SWAN model simulation with 1km grid. An analysis of wave distribution concentrates on the seasonal variation and spatial distribution of significant wave heights, mean wave directions and mean wave periods. Significant wave heights are higher in winter and summer and the west sea of Jeju appears relatively higher than east's. The highest significant wave height occurs at the northeast sea in winter and the second highest significant wave height appears at the southeast sea in summer, while the significant wave heights in spring and autumn are relatively low but homogeneous. The distribution of wave directions reveals that except the rear region influenced by wave refraction, the northwest wave direction is dominant in summer and the southeast in winter. Wave periods are longer in summer and winter and the west sea of Jeju appears relatively longer than east's. The longest wave period occurs at the west sea in winter, and in summer it appears relatively homogeneous with a little longer period at the south sea.

**Keywords:** SWAN(Simulating WAVes Nearshore), Jeju sea(제주해역), Wave distribution(파랑분포), Significant wave height(유의파고), Mean wave direction(평균 파향), Mean wave period(평균 파주기)

<sup>+</sup>Corresponding author: kyhong@kriso.re.kr

### 1. 서 론

해양 및 연안의 이용과 활동범위가 크게 신장되면서, 항만 및 해안개발 계획, 해안구조물의 설계, 경제적인 해상활동 등에서 중요한 환경조건이 되는 파랑 특성에 대한 정확한 이해의 필요성이 증가하고 있다. 또한 환경파괴와 자원고갈 문제가 심각해지면서 재생 가능한 청정에너지의 활용에 대한 관심이 높아지고 있다(홍석원 등[1998]). 해양에는 다양한 재생 가능한 에너지가 존재하며, 조력, 파력, 해류, 해상풍력, 온도차 발전 등을 이용한 전력생산이 활발히 연구되고 있다. 이중 파력발전은 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 지형적 여건에 기인하여 우리나라 연안역 주변의 많은 해역에서 적용 가능한 기술이다. 파력발전의 경제성은 무엇보다도 해역의 파랑에너지 밀도에 좌우되며, 파랑 특성인자들의 분포에 밀접히 연관되어 있다.

파랑분포 자료를 얻기 위해 해역의 모든 지점에서 결측 없이 연속적인 현장관측을 수행하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 현장관측으로는 한 시점과 장소에 대해서는 정확한 파랑 정보를 얻을 수 있으나 시공간적인 제약이 있으므로, 이를 보완하기 위해 파랑수치모델을 이용한 간접적인 산출 방법이 흔히 사용된다. 송무석 등[2004]은 15 km 격자를 사용하여 한반도 해역의 파랑에너지 분포 특성을 연구하였으며, 한반도 남서쪽의 제주도 해역이 상대적으로 큰 파랑에너지 밀도를 가지고 있음을 보였다. 본 연구는 파력발전의 유력한 적지인 제주 해역의 파랑분포 특성을 보다 정확하게 파악하기 위한 목적으로 수행되었다. 한국해양연구원에서 HYPA(Hybrid Parametric Wave Prediction) 모델(Graber & Madsen [1988])을 사용하여 구축한 제주해역의 1979년부터 2002년까지의 장기 파랑산출 자료(전기천 등[2003])를 경계조건으로 사용하였으며, 1 km 격자의 제주연안 해역에 대해 천해 영향을 고려할 수 있는 제3세대 파랑모델인 SWAN(Simulating WAves Nearshore)을 적용하여 장기파랑 분포 특성을 파악하였다. 이를 통해 파력발전 적지선정을 위한 기초 정보를 제공하고자 하였다.

### 2. SWAN 모델에 대하여

SWAN(Simulating WAves Nearshore) 모델은 바람, 수심 및 해류 조건으로부터 근해, 호수 및 강어귀에서 파랑의 특성인자를 추정하는 제3세대 수치 파랑모델이다(Booij et al.[1999], Ris et al.[1999]). 이 모델은 파랑 전파 과정에서, 파랑의 공간상 직선 전파, 수심과 조류에 의한 굴절, 수심과 조류에 의한 천해 현상, 반대 조류에 의한 파랑의 차단과 반사, 방해물에 의한 파랑의 전달 또는 반사를 고려할 수 있다. 그리고 파랑 생성과 소산 과정에서 바람에 의한 파랑 생성, 백파에 의한 파랑 소산, 수심기인 쇄파에 의한 파랑 소산, 바닥 마찰에 의한 파랑 소산, 비선형 상호작용에 의한 에너지 교환, 장애물에 의한 에너지 소산을 고려할 수 있다. 그러나 산란은 고려되지 않기 때문에, 항구나 장애물에 인접한 곳에서는 일반적으로 정확한 계산이 어렵다. SWAN 모델은 파랑작

용 평형방정식을 지배방정식으로 한다.

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial x}c_xN + \frac{\partial}{\partial x}c_yN + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \tag{1}$$

where

$\frac{\partial}{\partial t}N$ : local rate of change of action density in time,

$\frac{\partial}{\partial x}c_xN + \frac{\partial}{\partial x}c_yN$ : propagation of action in geographical space,

$c_x, c_y$ : propagation velocities,

$\frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N$ : shifting of the relative frequency due to variations in depths and currents (with propagation velocity  $c_\sigma$  in  $\sigma$  space),

$\frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N$ : depth-induced and current-induced refraction (with propagation velocity  $c_\theta$  in  $\theta$  space).

전파속도는 선형파 이론으로 도출되고, 파랑작용 평형방정식의 소오스 항 S는 파랑간의 비선형 상호작용, 파랑 소산, 파랑 발생의 효과를 나타낸다.

SWAN에서 유의파고( $H_s$ ), 파향(Dir), 주기( $T_m$ )는 각각 다음과 같이 정의된다. 먼저, 유의파고  $H_s$ 는 다음으로 정의된다.

$$H_s = 4 \sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \tag{2}$$

여기서  $E(\omega, \theta)$ 은 분산 밀도 스펙트럼이다. 풍파와 너울을 합한 총  $H_s$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$H_s = \sqrt{H_{sw}^2 + H_{ss}^2} \tag{3}$$

여기서  $H_{sw}$ 은 풍파에 의한 유의파고이고,  $H_{ss}$ 은 너울에 의한 유의파고이다. 평균 파향 Dir은 다음으로 정의된다.

$$Dir = \arctan \left[ \frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right] \tag{4}$$

평균 파주기  $T_m$ 은 다음으로 정의된다.

$$T_m = 2\pi \left( \frac{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1} \tag{5}$$

여기서  $\omega$ 는 절대 원주파수로 도플러 효과를 포함하는 분산관계식에 의해 결정된다.

### 3. SWAN 모델에 의한 제주해역 파랑 시뮬레이션

상세 격자에 대한 제주해역 파랑 시뮬레이션을 수행하기 위하여, 한국해양연구원이 보유한 15 km 격자로 구성된 제주해역 주

변의 장기파랑산출자료를 선형 보간하고, 이를 SWAN 모델의 경계조건으로 사용하였다. 이로부터, 1979년부터 2002년까지의 월별, 연별 평균 유의파고, 평균 파향, 평균 주기를 SWAN 모델을 이용하여 계산하였다. 그리고 한국해양연구원의 파랑자료는 풍파와 너울에 의한 파랑 요소가 구분되어 있으므로, 풍파와 너울을 분리하여 계산하였다. SWAN 모델에 해역의 바람자료를 입력하여 시뮬레이션을 수행하는 것이 보다 직접적이고, 정확한 결과를 줄 가능성이 있으나, 많은 계산 시간이 요구되어 효율성의 측면에서 부정적이다.

3.1 SWAN 모델 시뮬레이션 조건

SWAN 모델을 이용한 제주해역 파랑시뮬레이션은 다음의 조건을 적용하였다. 계산영역은 경도 125.67°-127.33°, 위도 32.86°-33.84°이다. 격자간격은 1 km이며, 경도방향 격자수 151개, 위도방향 격자수 106개로 총 16006개의 격자점을 갖는다. 계산영역의 수심과 해안선은 전자해도 216번과 235번을 이용하여 추출하였다. Fig. 1은 전자해도 216, 235번을 이용하여 추출한 제주해역 수심 분포와 계산영역을 보여준다. 경계조건은 한국해양연구원의 장기파랑산출 자료를 계산영역에 맞게 추출한 후, 1 km 격자로 선형 보간하여 사용하였다. 경계에서의 파랑스펙트럼은 JONSWAP 스펙트럼을 적용하였으며, JONSWAP 스펙트럼의 정점계수는 3.3을 가정하였다.

3.2 월평균 파랑특성의 적용

한국해양연구원에서 구축한 장기 파랑산출자료는 1시간 간격으로 1979년부터 2002년까지 여러 파랑요소들을 산출한 자료이다. 파랑의 월별 분포가 주된 관심인 경우에, 매 시간별 경계조건을 적용하여 얻어진 시간별 해역의 파랑분포를 월평균 함으로써 해역의 월평균 파랑분포를 구하는 것은 오랜 계산시간이 소요된다.

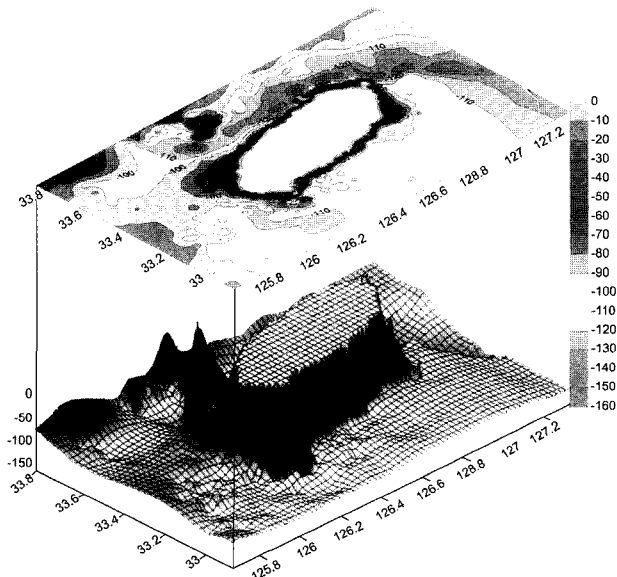
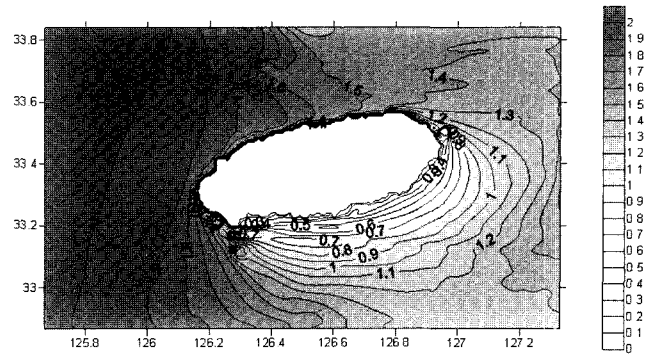
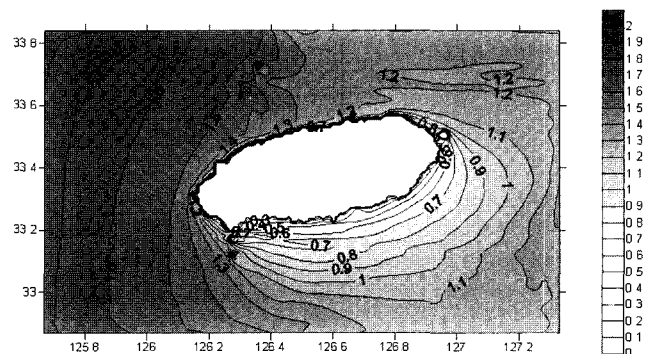


Fig. 1. Water depth distribution of Jeju sea area.



(a) simulated by monthly mean wave parameters



(b) simulated by serial wave parameters in 6 hour time interval

Fig. 2. Mean significant wave height (m) at Jeju sea for January of 2002.

본 절에서는 시간별 경계조건을 적용하는 대신에 월평균 값을 경계조건으로 하여 해역의 월평균 파랑분포를 구하고 결과를 상호 비교하였다. 이로부터 월평균 경계조건 적용에 의한 파랑분포 시뮬레이션 결과로부터 해역의 계절적 파랑분포 변화를 유추하는 방법의 유효성을 검증하였다.

Figure 2와 3은 SWAN 모델에 2002년 1월의 평균 파랑요소(유의파고, 파향, 정점주기)를 경계조건으로 입력하여 제주도 해역을 시뮬레이션 한 결과와 동일 시기의 6시간 간격 파랑요소를 입력 자료로 계산하여 얻어진 파랑분포를 평균하여 얻어진 월평균 유의파고와 파주기를 각각 보여준다. 유의파고의 분포는 정성적으로 서로 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며, 다만 월평균 파랑요소를 경계조건으로 적용한 경우가 6시간 간격의 파랑요소를 입력 자료로 계산하여 평균한 경우보다 전 해역에서 약 0.2-0.3 m 정도 높은 유의파고를 보여준다. 파주기의 경우에도 정성적으로는 서로 일치하나, 월평균 경계조건을 적용하는 경우가 전 해역에서 약 1초 정도 긴 것으로 나타난다.

4. 제주해역 장기 파랑분포 특성

제주해역 파랑분포의 계절적 특성을 살펴보기 위해, SWAN 모델을 이용한 시뮬레이션에 의해 얻어진 1979년부터 2002년까지

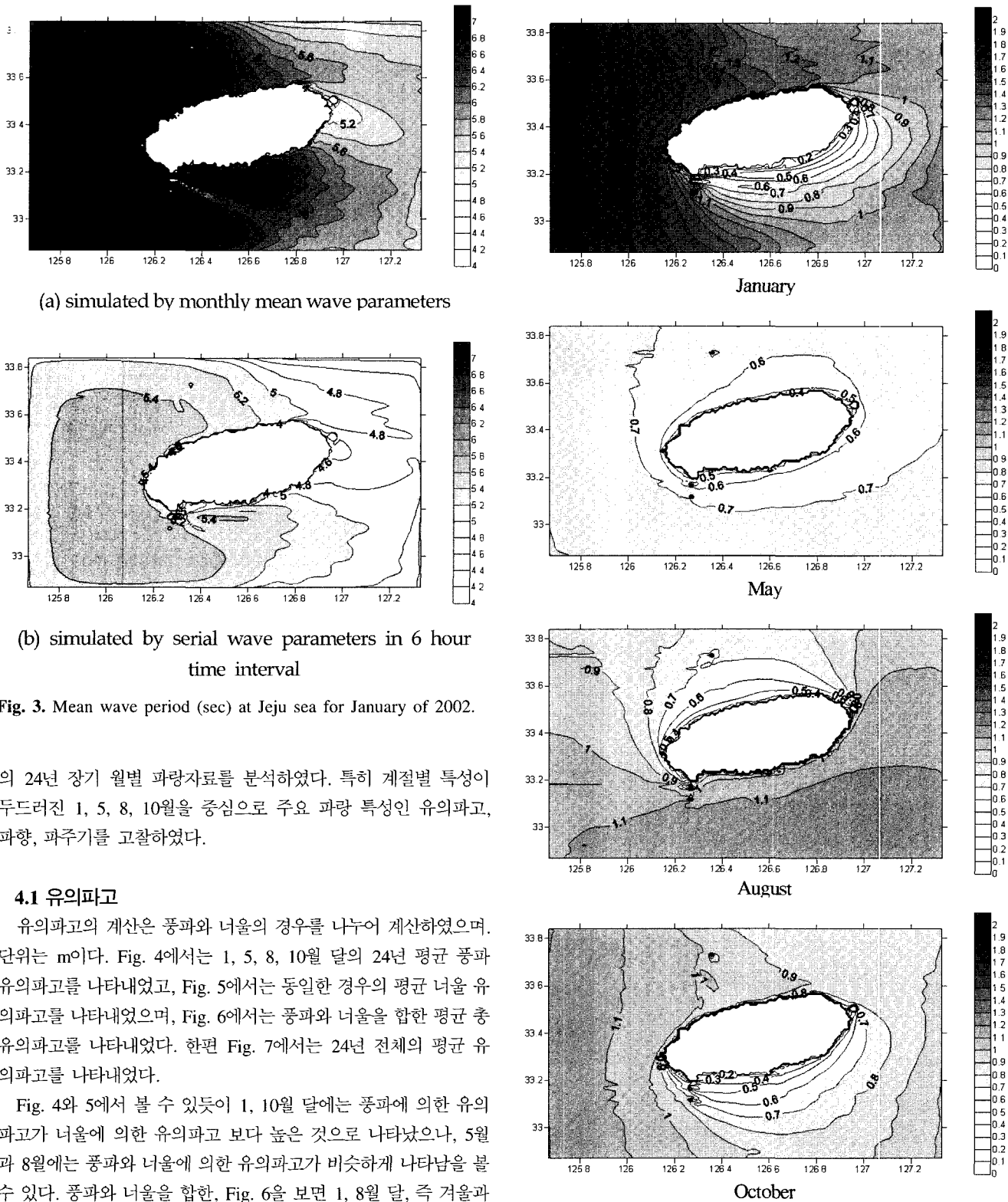


Fig. 3. Mean wave period (sec) at Jeju sea for January of 2002.

의 24년 장기 월별 파랑자료를 분석하였다. 특히 계절별 특성이 두드러진 1, 5, 8, 10월을 중심으로 주요 파랑 특성인 유의파고, 파향, 파주기를 고찰하였다.

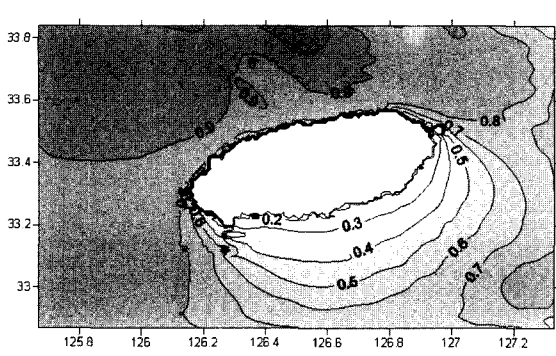
4.1 유의파고

유의파고의 계산은 풍파와 너울의 경우를 나누어 계산하였으며, 단위는 m이다. Fig. 4에서는 1, 5, 8, 10월 달의 24년 평균 풍파 유의파고를 나타내었고, Fig. 5에서는 동일한 경우의 평균 너울 유의파고를 나타내었으며, Fig. 6에서는 풍파와 너울을 합한 평균 총 유의파고를 나타내었다. 한편 Fig. 7에서는 24년 전체의 평균 유의파고를 나타내었다.

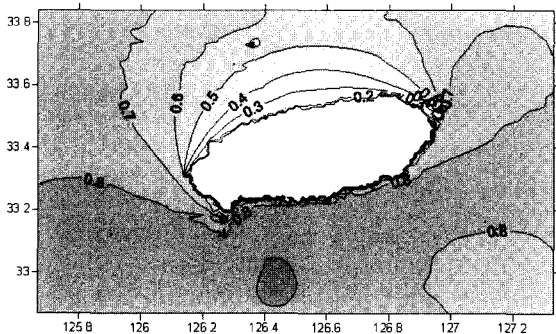
Fig. 4와 5에서 볼 수 있듯이 1, 10월 달에는 풍파에 의한 유의파고가 너울에 의한 유의파고 보다 높은 것으로 나타났으나, 5월과 8월에는 풍파와 너울에 의한 유의파고가 비슷하게 나타남을 볼 수 있다. 풍파와 너울을 합한, Fig. 6을 보면 1, 8월 달, 즉 겨울과 여름의 유의파고가 봄, 가을에 비해 상대적으로 높은 것을 볼 수 있다. 공간적으로는 여름에는 남쪽의 유의파고가 높은 반면에, 겨울에는 북쪽이 높으며(Fig. 6), 연 평균으로는 제주도의 동쪽보다는 서쪽의 유의파고가 높은 것을 알 수 있다(Fig. 7). 전체적으로는 겨울에 북서쪽 해역에서 가장 파고가 높고, 여름철에는 남동쪽

Fig. 4. The monthly mean of wind-sea significant wave heights in Jeju sea from 1979 to 2002.

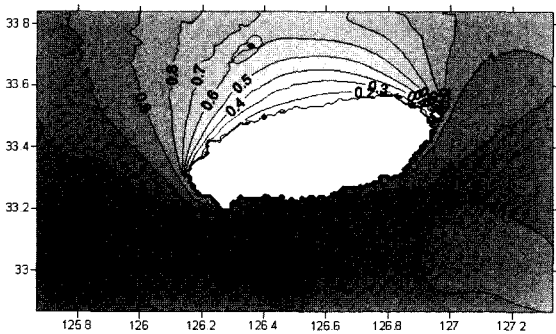
해역에서 파고가 높게 나타난다. 봄가을에는 전체적으로 파고가 낮으나, 해역의 파고분포는 비교적 균일함을 알 수 있다. Table 1



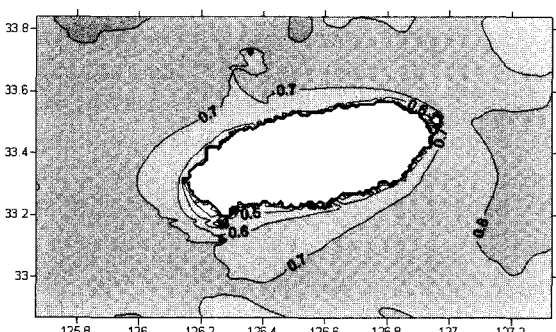
January



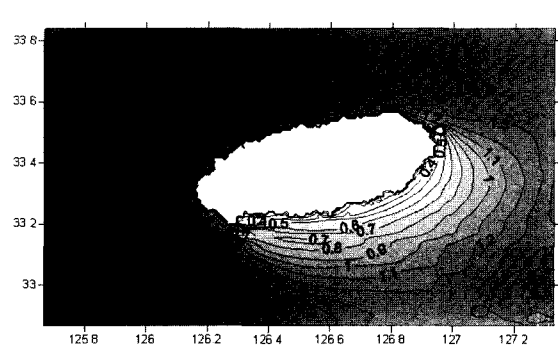
May



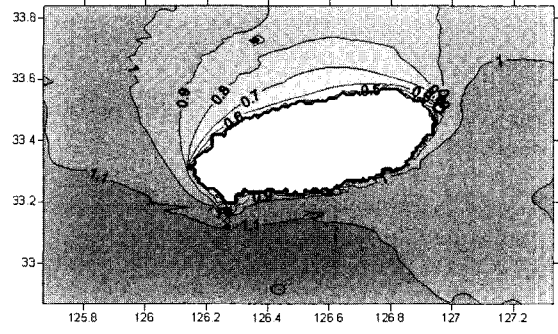
August



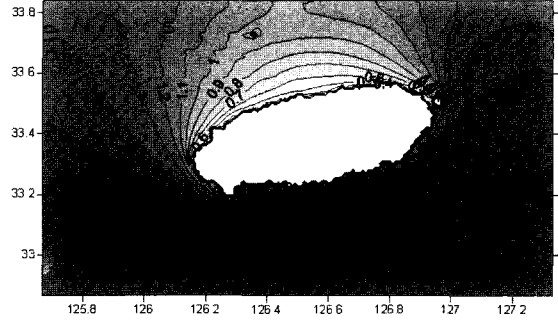
October



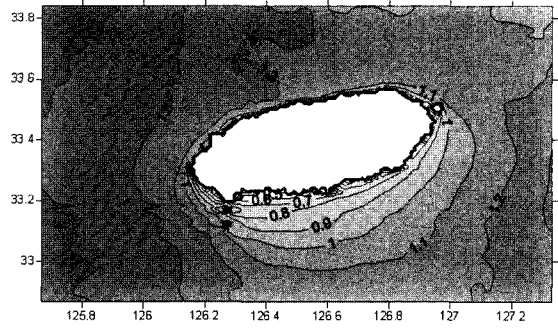
January



May



August



October

Fig. 5. The distribution of a monthly average of swell-sea significant wave heights in Jeju sea area from 1979 to 2002.

Fig. 6. The monthly mean of total significant wave heights in Jeju sea from 1979 to 2002.

에는 제주도를 중심으로 동(우도), 서(차귀도), 남(남원), 북(한림)을 대표하는 임의 지점의 계절별 총 유의파고를 나타내었다. 제주

연안역의 월평균 총 유의파고는 계절 및 위치에 따라 약 0.4~2.0 m 범위에서 변화함을 보여준다.

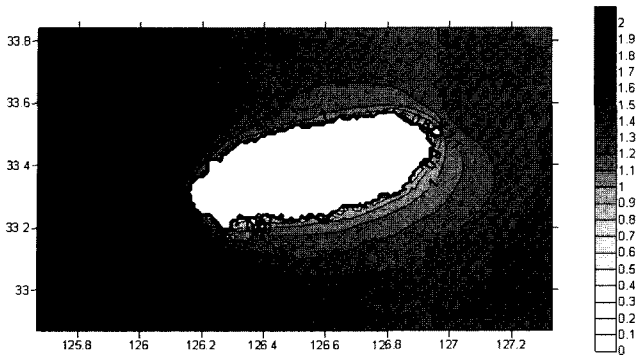


Fig. 7. The annual mean of significant wave heights at Jeju sea from 1979 to 2002.

Table 1. Comparison of monthly mean total significant wave heights at east, west, south and north locations around Jeju.

	Significant wave height (m)			
	Jan	May	Aug	Oct
East (126.987°, 33.516°)	1.07	0.94	1.38	1.09
West (126.135°, 33.312°)	1.76	0.89	1.13	1.13
South (126.699°, 33.164°)	0.75	1.09	1.6	0.92
North (126.268°, 33.442°)	1.67	0.48	0.41	1.02

### 4.2 평균 파향

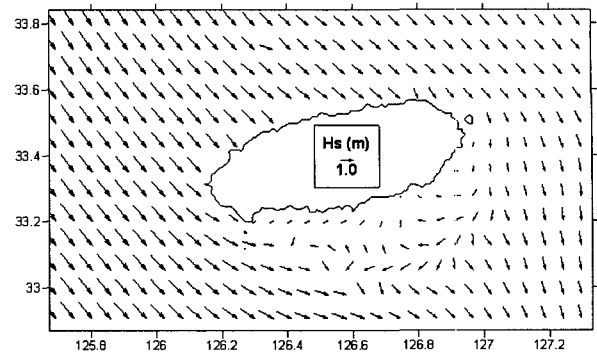
평균 파향의 계산도 풍파와 너울의 경우를 나누어 24년 동안의 월별 평균 파향과 24년 전체 평균 파향을 계산하였으며, 단위는 도이다. Fig. 8은 계절별 대표 월의 풍파 평균 파향을 나타내며, Fig. 9는 너울의 평균 파향을 나타낸다.

파향은 겨울철에는 북서풍의 영향으로 남동방향에 지배적이며, 여름에는 북서방향에 지배적이다. 다만, 파향의 배후지역은 국부적으로 회절의 영향이 나타남을 볼 수 있다. 파향의 분포는 상대적으로 유의파고가 큰 1, 8월, 즉 겨울과 여름철에는 파향의 배후지역을 제외하고는 풍파와 너울의 파향이 비슷한 경향을 보이나, 상대적으로 유의파고가 작은 5, 10월, 즉 봄과 가을의 경우에는 풍파와 너울의 파향이 차이를 보인다.

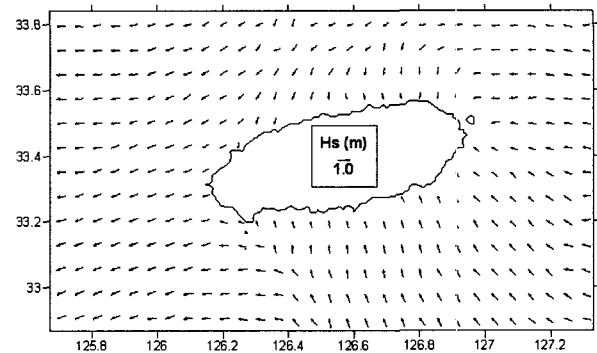
### 4.3 평균 파주기

평균 파주기의 계산도 풍파와 너울의 경우를 나누어 24년 동안의 월별 평균 파주기와 24년 전체 평균 파주기를 계산하였으며, 단위는 초이다. Fig. 10는 계절별 대표 월의 풍파 평균 파주기를 나타내며, Fig. 11은 너울 평균 파주기를 나타내고, Fig. 12는 풍파와 너울의 24년 전체 평균 파주기를 나타낸다.

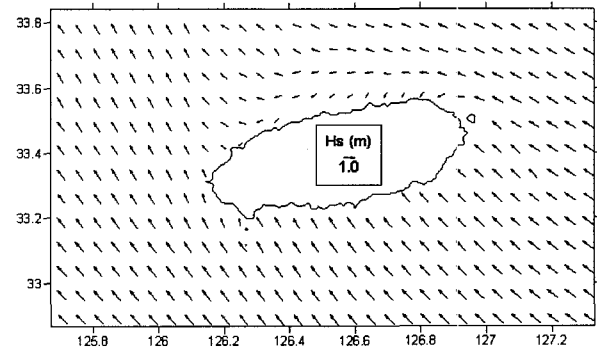
풍파의 주기는 계절적인 변화와 해역에 따른 차이가 동시에 존재하나, 너울의 경우에는 계절별 변화는 있지만 지역적으로는 큰 차이를 보이지 않는다. 풍파와 너울의 주기는 상대적으로 유의파고가 큰 겨울과 여름철에 상대적으로 유의파고가 작은 봄, 가을보다 긴 주기를 나타내었다. 연평균으로는 제주도의 동쪽보다는 서쪽의 파주기가 긴 것을 알 수 있다. 전체적으로는 겨울에 서쪽 해역에서 파주기가 가장 길고, 여름철에는 상대적으로 파주기 분



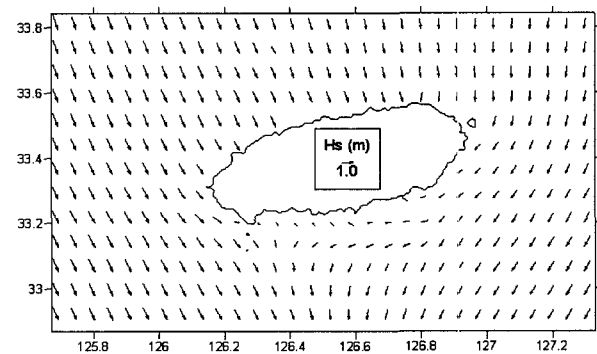
January



May



August



October

Fig. 8. The monthly mean of wind-sea wave directions in Jeju sea from 1979 to 2002.

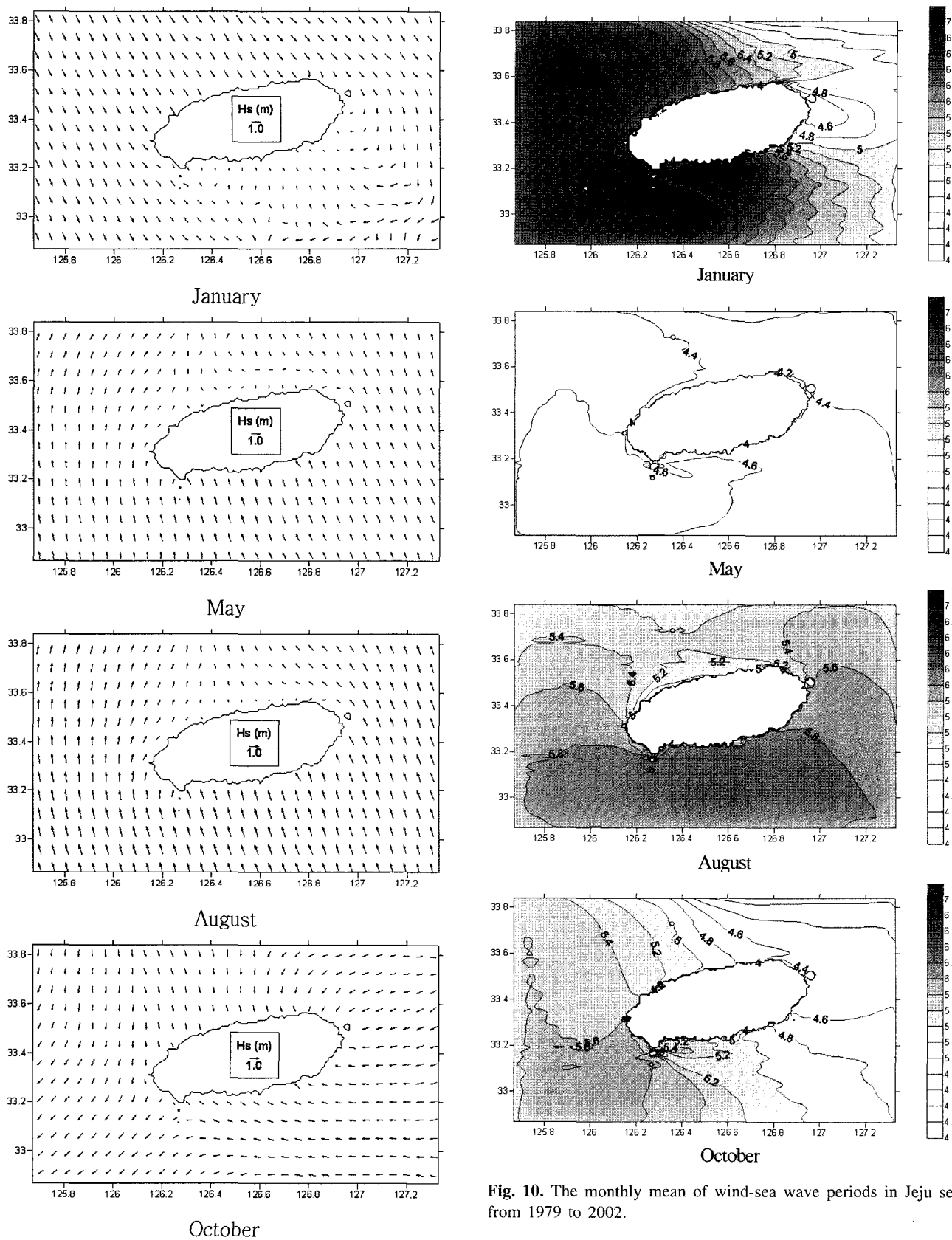


Fig. 9. The monthly mean of swell-sea wave directions in Jeju sea from 1979 to 2002.

Fig. 10. The monthly mean of wind-sea wave periods in Jeju sea from 1979 to 2002.

포가 균일하나 남쪽 해안이 다소 길며, 봄가을에는 전체적으로 파 주기가 짧으나 분포는 비교적 균일함을 알 수 있다. Table 2에서

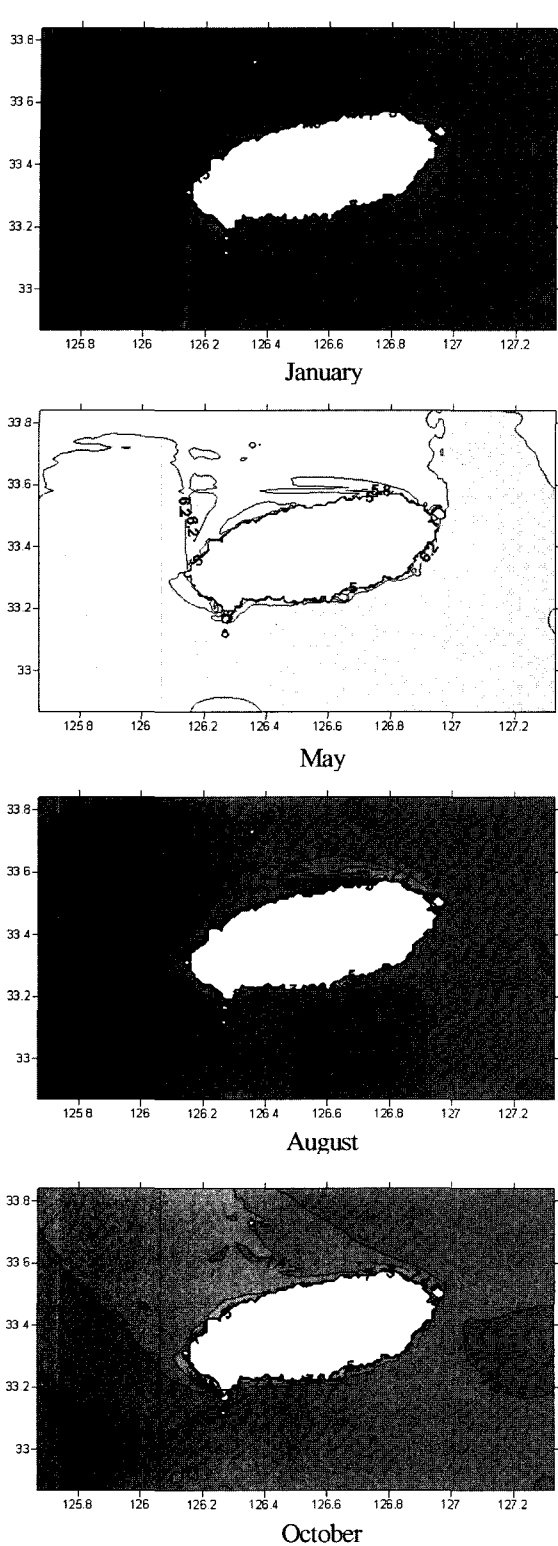


Fig. 11. The monthly mean of swell-sea wave periods in Jeju sea from 1979 to 2002.

는 제주도를 중심으로 동(우도), 서(차귀도), 남(남원), 북(한림)을 대표하는 임의지점의 풍파의 계절별 파주기를 표시하였다. 제주

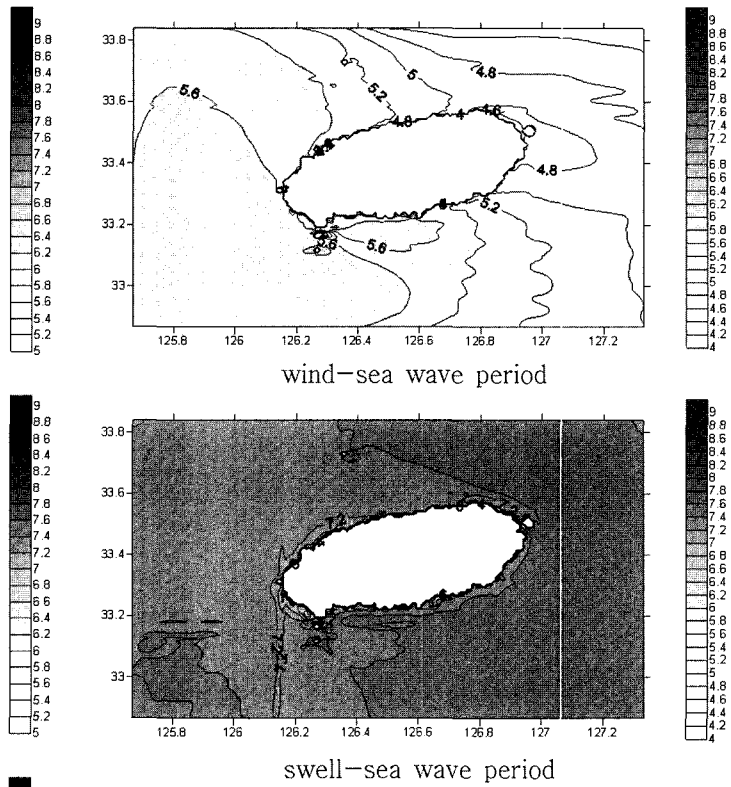


Fig. 12. The annual mean of wind-sea and swell-sea wave periods at Jeju sea from 1979 to 2002.

Table 2. Comparison of monthly mean wind-sea wave periods at east, west, south and north locations of Jeju.

	Wave period (sec)			
	Jan	May	Aug	Oct
East (126.987°, 33.516°)	4.06	4.34	5.64	4.41
West (126.135°, 33.312°)	6.59	4.60	5.65	5.53
South (126.699°, 33.164°)	6.42	4.61	5.90	5.07
North (126.268°, 33.442°)	6.21	4.29	4.97	5.34

해역 풍파의 월평균 파주기는 계절 및 지역에 따라 약 4.2~6.6 sec 범위에서 변화함을 보여준다.

### 5. 결 론

SWAN 파랑모델을 기반으로 풍파와 너울을 구분하여 제주해역 파랑분포 시뮬레이션을 수행함으로써 제주해역의 계절적-공간적 파랑분포에 관한 다음의 결론을 얻었다.

(1) 여름과 겨울에는 풍파에 의한 유의파고가 지배적이며, 봄과 가을에는 풍파와 너울에 의한 유의파고가 비슷하게 나타난다. 풍파와 너울을 합한 총 유의파고는 여름과 겨울이 상대적으로 높고 봄과 가을은 상대적으로 낮다. 공간적으로는 여름에는 남쪽의 유의파고가 높은 반면에, 겨울에는 북쪽이 높으며, 연 평균으로는 제주도의 동쪽보다는 서쪽의 유의파고가 높다. 전체적으로는 겨울에 북서쪽 해역에서 가장 파고가 높고, 여름철에는 남동쪽 해역에서



파고가 높게 나타난다. 봄가을에는 전체적으로 파고가 낮으나, 해역의 파고분포는 비교적 균일함을 보인다. 제주 연안역의 월평균 중 유의파고는 계절 및 위치에 따라 약 0.4~2.0 m 범위에서 변화한다.

(2) 파향은 겨울철에는 북서풍의 영향으로 남동방향이 지배적이며, 여름에는 북서방향이 지배적이다. 다만, 파향의 배후지역은 국부적으로 회절의 영향이 나타난다. 파향의 분포는 상대적으로 유의파고가 큰 여름과 겨울철에는 파향의 배후지역을 제외하고는 풍파와 너울의 파향이 비슷한 경향을 보이나, 상대적으로 유의파고가 작은 봄과 가을에는 풍파와 너울의 파향이 차이를 보인다.

(3) 풍파의 주기는 계절적인 변화와 해역에 따른 차이가 동시에 존재하나, 너울의 경우에는 계절적 변화는 있지만 지역적으로는 큰 차이를 보이지 않는다. 풍파와 너울의 주기는 상대적으로 유의파고가 큰 겨울과 여름철이 상대적으로 유의파고가 작은 봄, 가을보다 긴 주기를 나타내며, 연평균으로는 제주도의 동쪽보다는 서쪽의 평균주기가 길다. 전체적으로는 겨울에 서쪽 해역에서 파주기가 가장 길고, 여름에는 상대적으로 파주기 분포가 균일하나 남쪽 해안이 다소 길며, 봄가을에는 전체적으로 파주기가 짧으나 분포는 비교적 균일하다. 제주 해역 풍파의 월평균 파주기는 계절 및 지역에 따라 약 4.2~6.6 sec 범위에서 변화한다.

## 후 기

본 논문은 해양수산부의 지원으로 한국해양연구원에서 수행한 “파력발전 실용화 기술 개발”과 한국전력연구원의 지원으로 한국

해양연구원에서 수행한 “월파형 파력발전 기반기술 연구”의 연구 결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 송무석, 김도영, 김민, 홍기용, 전기천, 2004, “한반도 해역의 파랑에너지 분포특성 연구”, 한국해양환경공학회 2004년 춘계 학술대회 논문집, 201-208.
- [2] 전기천 외, 2003, “해상파랑관측 및 조사”, 해양수산부 해양수산연구개발사업 보고서.
- [3] 홍석원, 김현주, 강윤구 역, 1998, “해양에너지공학”, 신기술.
- [4] 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, C4, 7649-7666.
- [5] Graber, H.C. and Madsen, O.S., 1988, “A finite-depth wind-wave model. Part I: model description”, J. Phys. Oceano., Vol. 18, 1476-1483.
- [6] Ris, R.C., Booij, N. and Holthuijsen, L.H., 1999, “A third-generation wave model for coastal regions, Part II, Verification”, J. Geophys. Res., Vol. 104, C4, 7667-7681.

2004년 5월 17일 원고접수

2004년 7월 20일 수정본 채택