

## 실측자료에 근거한 동해안 파력 부존량 검토

정 원무<sup>1)</sup>, 오 상호<sup>2)</sup>, 이 달수<sup>3)</sup>, 이 동영<sup>4)</sup>

### Investigation on the Wave Power Resources on the East Coast of Korea Based on Field Measurement Data

Weon-Mu Jeong, Sang-Ho Oh, Dal-Soo Lee, Dong Young Lee

**Key words** : Wave energy(파 에너지), Wave power(파력), East coast(동해안), Field measurement(현장 관측)

**Abstract** : In the past, the use of wave energy has mainly been focused on conversion of large wave energy resources in the far offshore areas. However, with the technological improvement of converting wave energy into electricity, the energy resources at much shallow waters are now considered as a site for possible installation of the devices that obtain energy from the waves. In this respect, the wave energy resources on the east coast of Korea, where the sea is milder than the open ocean, were investigated using the field measurement data obtained at three different locations along the coast. For all the locations, the wave power was greater in winter season, compared to summer season. The estimated wave power varied from 2 to 4.5 kW/m on average, depending on the measurement locations.

#### Nomenclature

$\rho_w$  : specific density of water,  $\text{kg/m}^3$   
 $g$  : gravitational acceleration,  $\text{m/s}^2$   
 $H$  : wave height of regular wave, m  
 $H_{1/3}$  : significant wave height estimated by the zero-crossing method, m  
 $H_s$  : significant wave height estimated by the wave spectrum, m  
 $K_s$  : shoaling coefficient  
 $P$  : wave power per unit width, W/m  
 $T$  : wave period of regular wave, s  
 $T_{1/3}$  : significant wave period estimated by the zero-crossing method, s

#### 1. 서론

석유를 비롯한 화석 연료는 매장량이 제한적이므로 미래에는 고갈될 수 밖에 없다. 한편 원자력 등의 에너지는 방사능 누출 사고 등이 발생할 경우 인체 및 자연에 미치는 악영향이 매우 크다. 따라서 자연으로부터 무한히 얻을 수 있고 안전하게 이용할 수 있는 신·재생에너지원을 개발하기 위한 노력이 전세계적으로 활발하게 펼쳐지고 있

다. 그 중에서도 해양의 파 에너지를 전기로 변환하려는 시도는 1970년대 이래로 지속적인 관심을 받아왔다.<sup>(1,2)</sup> 지금까지는 주로 파고가 큰 심해에서 규모가 큰 에너지 변환 장치를 사용하여 에너지를 얻으려는 시도가 많았지만, 근래에는 비교적 수심이 얇은 연안역에서도 규모가 작고 효율이 높은 발전 장치 여러 개를 조합하여 파력발전을 하려는 노력이 진행되고 있다.<sup>(3)</sup>

우리나라에서도 최근 다양한 신·재생에너지를 개발하기 위한 연구가 매우 활발하다. 그런데 해양파 에너지를 효과적으로 이용하는 방법에 관해서는 비교적 연구가 미약한 실정이다. 따라서 향후 파 에너지 개발을 위한 기초적인 연구가 이루어져야 할 필요성이 있다. 이 논문에서는 그 일

- 
- 1) 한국해양연구원 연안개발연구본부  
E-mail : wmjeong@kordi.re.kr  
Tel : (031)400-6326 Fax : (031)408-5823
  - 2) 한국해양연구원 연안개발연구본부  
E-mail : ohsangho@kordi.re.kr  
Tel : (031)400-7802 Fax : (031)408-5823
  - 3) 한국해양연구원 연안개발연구본부  
E-mail : dslee@kordi.re.kr  
Tel : (031)400-6336 Fax : (031)408-5823
  - 4) 한국해양연구원 연안개발연구본부  
E-mail : dylee@kordi.re.kr  
Tel : (031)400-6341 Fax : (031)408-5823

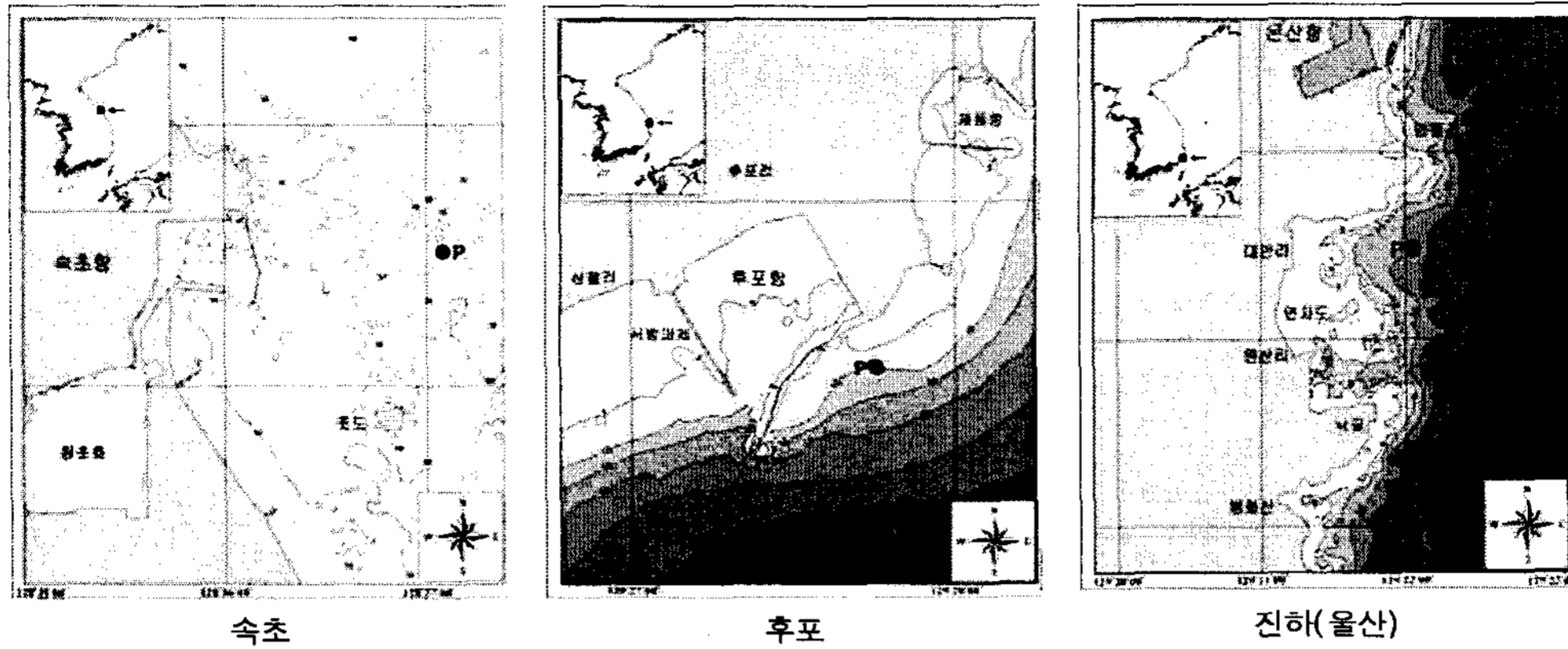


Fig. 1 Location map of the field measurement stations

환으로 최근 수 년간 동해안 3개 지점에서 장기 연속 파랑관측을 실시하여 취득한 데이터를 바탕으로 우리나라 동해안에서의 파력 부존량을 산정하고 그 특성을 분석하였다.

## 2. 동해안의 파 특성

### 2.1 관측 자료

파 관측은 동해안의 속초항, 후포항, 진해해수욕장 부근의 해역 3곳에서 이루어졌다. 각 관측점은 각각 동해안 북부, 중부, 남부 지역에 위치하고 있기 때문에 관측자료로부터 동해안 전 지역의 파 특성을 대략적으로 파악하는 것이 가능하다. 이 논문에서는 각 관측점을 속초, 후포, 울산으로 표기하였다. 파 관측에는 수압식 파고계(모델명: WTG-128M)가 사용되었으며, 각 지점별로 수압식 파고계가 설치된 수심 및 관측 기간을 Table 1에 제시하였다. 파고계의 자료수집 시간 간격은 0.5초이며, 30분마다 2,048개의 자료를 사용하여 파 스펙트럼을 계산하였다. 스펙트럼 분석법을 통하여 유의파고( $H_s$ )를 계산하였고, 제로 크로싱 방법을 통하여 유의주기( $T_{1/3}$ )를 계산하였다.

Table 1 Basic information of the three sites

	속초	후포	울산
수심 (m)	13.4	9.6	18.7
관측 기간	2003.3.24 - 2005.8.8	2002.4.26 - 2006.5.4	2003.8.7 - 2005.8.10
자료 수	41641	70267	34727

### 2.2 파고 및 주기 분포

Fig. 2와 3은 각 관측지점에서의 유의파고 및 유의주기에 대한 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 또한 Table 2에는 유의파고 및 유의주기의 평균값 및 최대값을 제시하였다. 세 관측점에서 유의파고 확률밀도함수의 첨두값은 모두 파고 0.5 m보다 아래에서 나타난다. 울산에 비해서

속초에서 파고가 높은 파가 더 자주 출현함을 알 수 있다.

한편, 파 주기의 경우에는 유의주기 4초에서 10초 사이의 파가 주로 관측되며 유의주기 6초 부근의 파가 가장 자주 출현하였다. 유의파고의 분포에 비해서는 확률밀도함수가 최빈값을 중심으로 고르게 분포하는 양상을 보임을 알 수 있다.

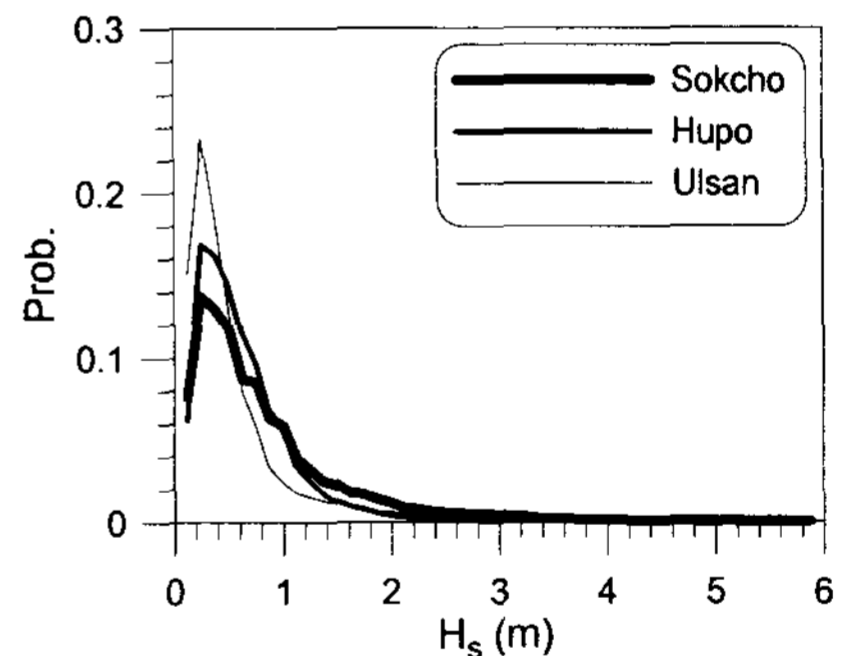


Fig. 2 Probability distribution of significant wave heights

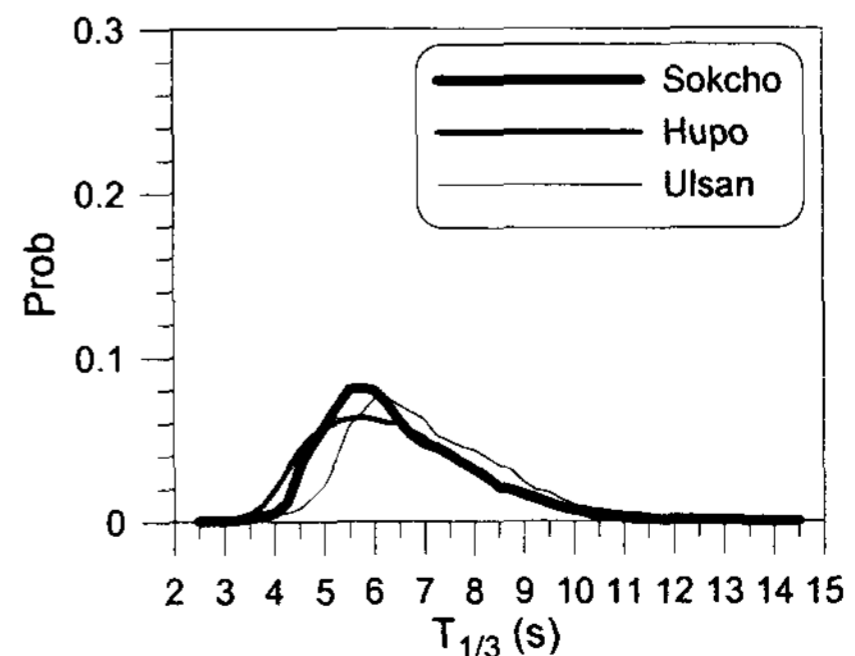


Fig. 3 Probability distribution of significant wave periods

Table 2 Mean and maximum values of wave heights and periods

	속초	후포	울산
mean( $H_s$ ) (m)	0.82	0.64	0.53
max( $H_s$ ) (m)	6.05	6.83	6.49
mean( $T_{1/3}$ ) (s)	6.51	6.48	7.11
max( $T_{1/3}$ ) (s)	15.17	14.44	14.49

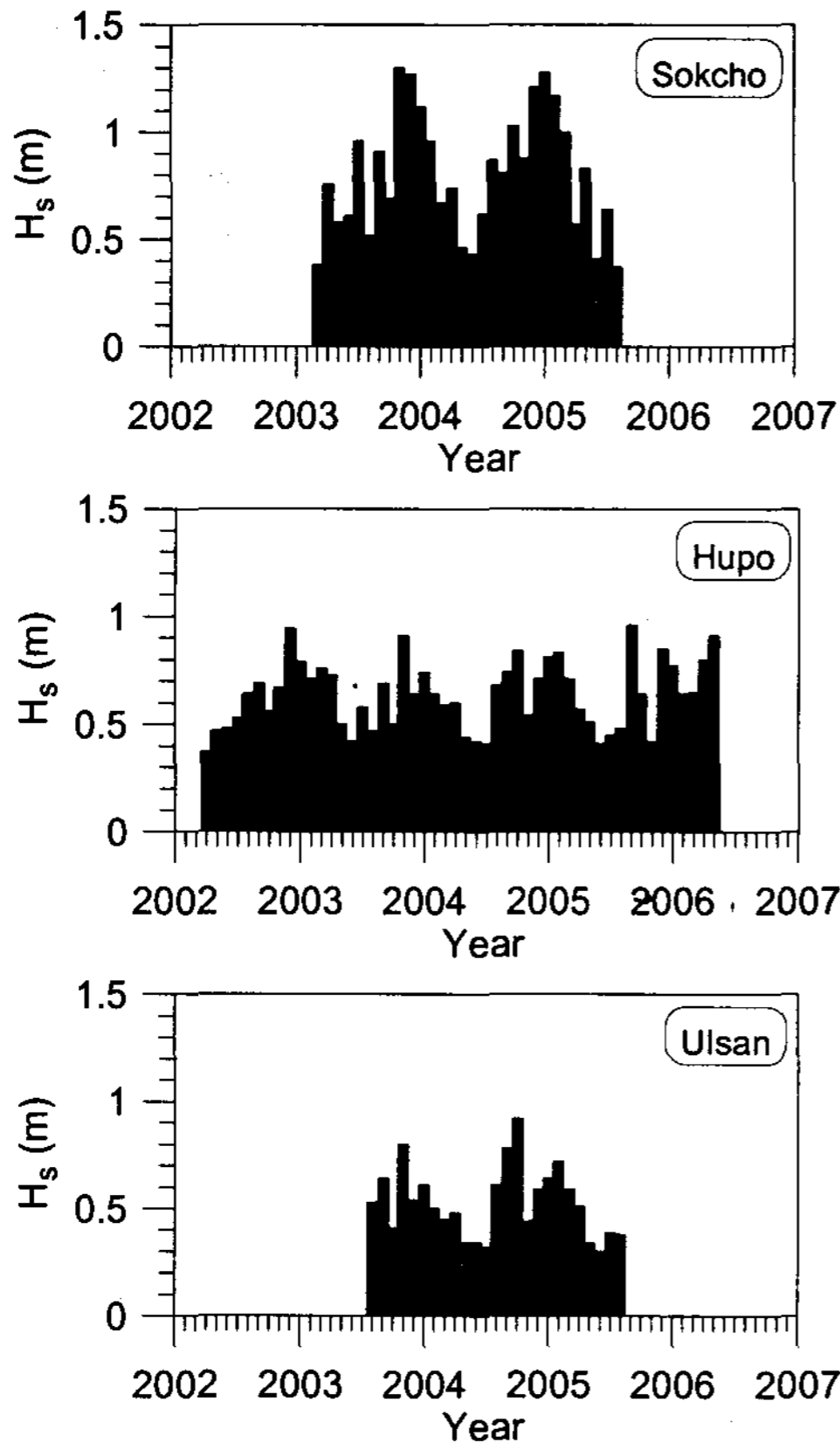


Fig. 4 Monthly variation of significant wave heights

### 2.3 월별 및 계절적 변동성

Fig. 4에는 관측 기간 동안 각 관측점의 월별 평균 파고를 나타내었다. 대체로 계절적 변동성이 모든 지점에서 뚜렷하게 나타나며, 특히 속초에서는 겨울철의 파고가 여름철에 비해 2배 이상 큰 것을 알 수 있다. 울산의 경우에는 다른 두 지점에 비해서 여름~가을철의 월별 평균파고가 높은데 이것은 태풍의 영향으로 추정된다. 연별 변동성은 Fig. 3에 나타난 바와는 아주 크지 않은 것으로 보이지만, 관측기간이 충분히 길지 않기 때문에 단언하기는 어렵다.

Fig. 5에 보인 유의주기의 그림에서도 매우 뚜렷한 계절적 변동성이 나타났다. 다만, 유의파고의 경우와는 달리 지역별로 유의주기의 크기가 비슷하였다.

## 3. 동해안의 파력 부존량 검토

### 3.1 파력 계산 방법

파고  $H$ , 주기  $T$ 인 규칙파의 단위 면적당 에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$E = \frac{1}{8} \rho_w g H^2 \quad (1)$$

여기서  $\rho_w$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력가속도이다. 이 파랑에너지는 군속도  $c_g$ 로 전파되며, 이 에너지의 전파량을 파력(Wave power)이라고 한다.

$$P = E \cdot c_g = \frac{1}{32\pi} \rho_w g^2 H^2 T \quad (2)$$

식(2)는 파봉선 1m당의 파력을 나타내며 단위는 W/m 이다. 한편 천해역에서의 파력은 천수계수  $K_s$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{K_s^2} \frac{1}{32\pi} \rho_w g^2 H^2 T \quad (3)$$

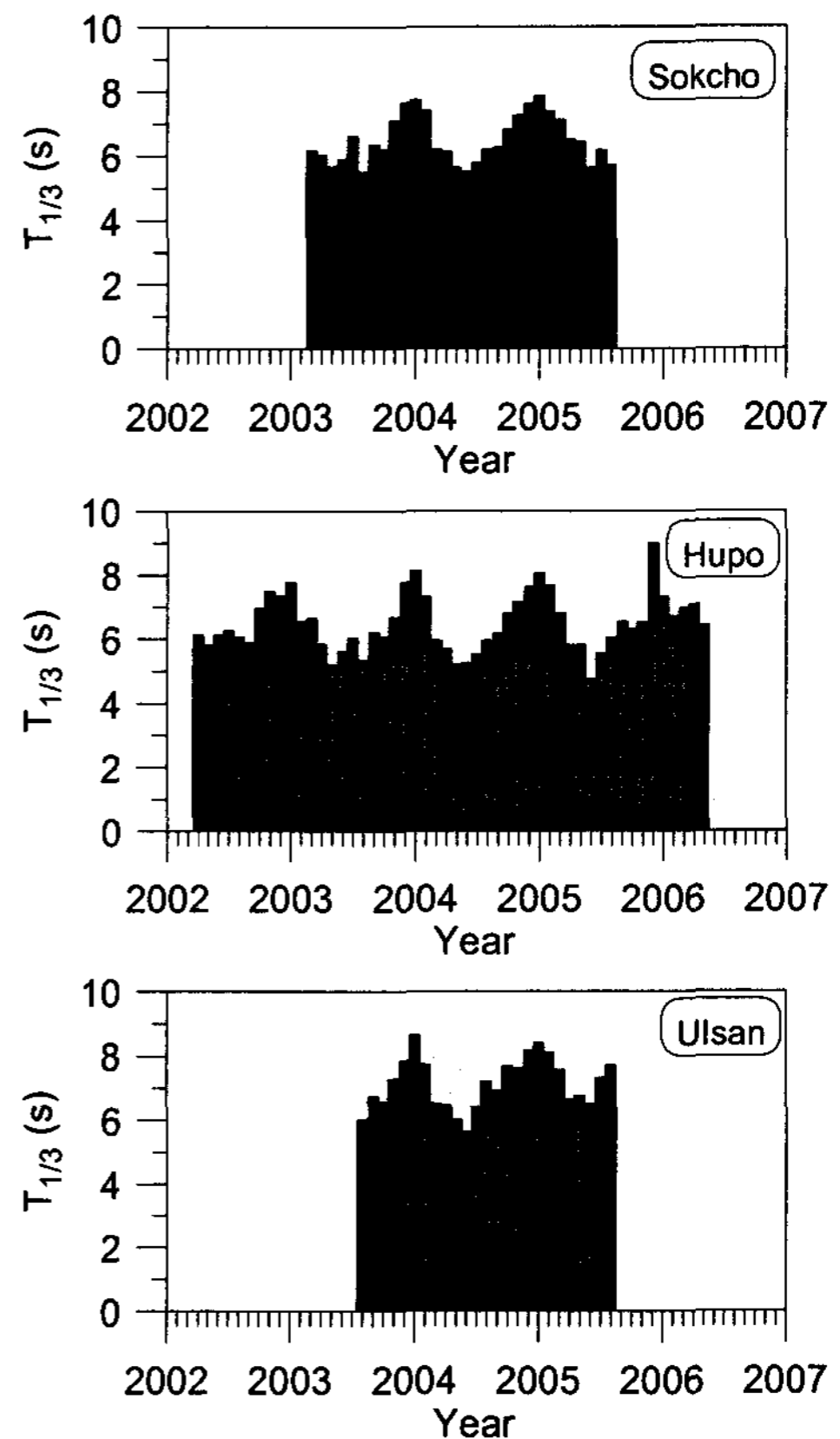


Fig. 5 Monthly variation of significant wave periods

실제 바다에서의 파는 주기가 다른 여러 성분들이 섞여있으므로 파력은 다음과 같이 계산된다.<sup>(4)</sup>

$$P = \frac{1}{64\pi} \rho_w g^2 H_{1/3}^2 T_{1/3} \quad (4)$$

식 (4)를 정리하고 현장에서 많이 사용하는 파력의 단위 kW/m로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$P \approx 0.5 H_{1/3}^2 T_{1/3} \quad (5)$$

### 3.2 파력의 월별 및 연별 변동성

식(5)를 이용하여 3개 관측 지점에서의 파력을 계산하였다. 이 때 유의파고로는 파 스펙트럼으로부터 계산한 유의파고  $H_s$ 를 사용하였다. Fig. 6에는 각 관측점의 월평균 파력을 나타내었다. 속초에서의 파력이 후포 및 울산에서의 파력에 비해 월등히 큰데, 이것은 파력이 유의파고의 제곱에 비례하기 때문이다. 이로 인해서 각 지점에서의 월별 변동성도 더 뚜렷하게 나타난다. 관측기간 동안 각 지점의 월평균 파력의 평균값을 제시한 Table 3에서 알 수 있듯이 속초의 경우에 12월에는 파력이 10 kW/m를 초과하지만, 6월에는 1 kW/m 정도에 불과하다.

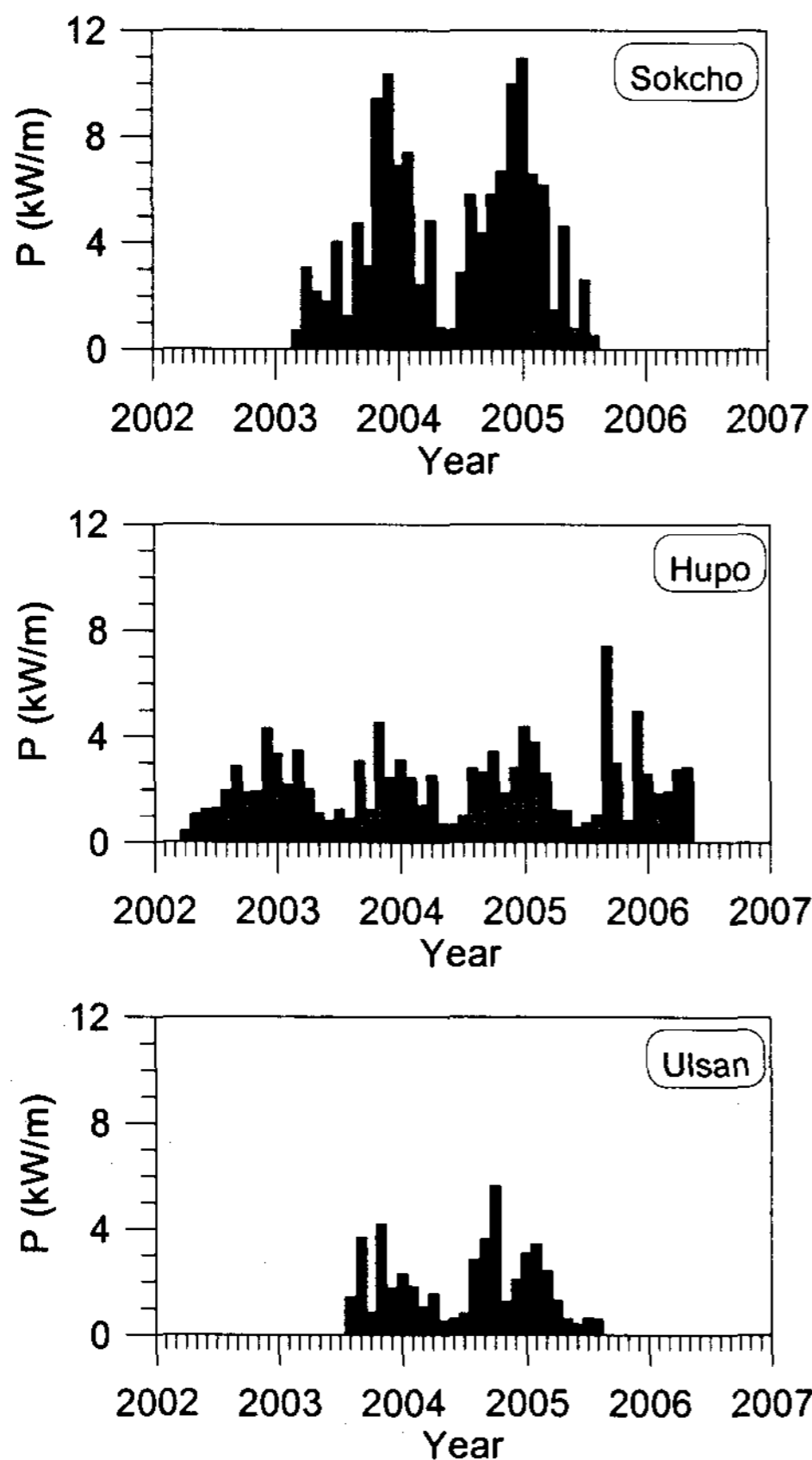


Fig. 6 Monthly variation of wave power  
한편, Table 4에는 각 해역별 파력의 연별 변동성을 나타내었다. 속초에서의 연평균 파력은 후포 및 울산에 비해서 2배 정도 높다. 비록 관

측 기간이 작긴 하지만 연평균 파력은 평균값을 기준으로  $\pm 20\%$ 의 범위 내에서 분포하며, 따라서 연별 변동성은 비교적 작은 편이라고 할 수 있다.

Table 3 Monthly average wave power (kW/m)

월	속초	후포	울산
1	8.92	3.36	2.70
2	6.99	2.57	2.64
3	3.09	2.36	1.74
4	3.12	1.79	1.42
5	2.54	1.38	0.59
6	1.11	0.82	0.52
7	3.18	1.07	0.73
8	2.51	1.68	1.63
9	4.54	4.01	3.66
10	4.45	2.39	3.24
11	8.05	2.29	2.71
12	10.17	3.64	1.93

Table 4 Annual average wave power (kW/m)

연	속초	후포	울산
2002	-	2.04	-
2003	4.06	2.20	2.39
2004	4.88	2.12	2.01
2005	4.21	2.65	1.57
2006	-	2.40	-
평균	4.39	2.28	1.99

### 4. 토의 및 결론

이 연구에서는 최근 수 년간 우리나라 동해안의 3개 지점에서 연속적으로 수행된 파랑 관측 자료로부터 파력 부존량을 평가하고 그 특성을 분석하였다. 자료 분석 결과 파력의 계절적 변동성이 매우 큰 것으로 나타났다. 동해안을 따라서 파력은 평균적으로 2~4.5 kW/m 사이의 값을 나타내었다. 계절적으로는 겨울철에 파력이 크게 산정되었으며, 특히 속초 주변 해역에서는 겨울철의 월평균 파력이 10kW/m를 초과하였다. 동해 중·남부 해역에서의 파력은 2 kW/m 정도로 북부 지방 평균값의 50% 미만으로 나타났다. 이러한 파력 추정값은 이웃 나라 일본 연근해에서의 파력 추정 평균값인 7 kW/m에 비해서는 지역에 따라 35~70% 정도 작은 값이다.<sup>(4)</sup>

향후 동해안에서 파력 발전 등 파 에너지의 효과적인 이용 방안을 본격적으로 검토하기 위해서는 파력 부존량이 비교적 큰 속초 등 강원 북부 지역을 중심으로 추가적인 연구가 수행되는 것이 바람직하다. 특히 본 연구에서는 비교적 수심이 얇은 연근해에서의 파력 부존량을 산정하였는데, 수치모형 등을 이용하여 수심이 더 깊은 외

해에서의 파력 부존량을 산정하여 상호 비교할 필요성이 있다.

## 사 사

본 논문은 한국해양연구원의 기관고유사업인 "해상파랑 관측 및 조사" 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] Panicker NN. 1976. "Power resource estimate of ocean surface 이 연구에서는 최근 수년간 우리나라 동해안의 3개 지점에서 연속적으로 수행된 파랑 관측 자료로부터ce waves", *Ocean Engineering*, 3, 429-439.
- [2] Glendenning I. 1977. "Ocean wave power", *Applied Energy*, 3, 197-222.
- [3] Bernhoff H., Sjosedt E., and Leijon M. 2006. "Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea", *Renewable Energy*, 31, 2164-2170.
- [4] 홍석원, 김현주, 강윤구 (譯). 2001. 해양에너지공학, 231pp, 신기술.
- [5] Henfrisson U. et al. 2007. "Wave energy potential in the Baltic Sea and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak", *Renewable Energy*, 32, 2069-2084.