

# 최근 몇 년간 속초해역에서의 이상 고파 Abnormally high Waves near the Sokcho Sea Area in Recent Years

정원무\*·류경호\*\*·오상호\*\*\*  
Weon-Mu Jeong\*, Kyong-Ho Ryu\*\* and Sang-Ho Oh\*\*\*

## 요 지

최근 몇 년간 속초해역에서 발생한 이상고파의 특성을 현장관측 자료를 분석하고 수치모형실험 결과와 비교하여 검토하였다. 2004년 이후의 현장 관측을 통해 최소한 4회 이상 파고 5.0 m를 초과하는 이상고파가 발생하였다. 특히 2006년 10월 23일 11시에는 유의파고 9.69 m에 이르는 매우 큰 파가 관측되었다. 한편 천해역 파랑추산모형 SWAN을 사용하여 속초해역의 50년 및 100년빈도 심해설계파로부터 천해설계파를 산정하여 이상고파 관측 결과와 비교하였다. 수치모형실험에 의한 50년빈도 천해설계파의 최대치는 파향이 ESE 방향일 때 4.9 m에 지나지 않아서 관측된 이상고파의 파고에 비해 현저하게 작았다. 따라서 통상적으로 이루어지고 있는 수치모형을 이용한 천해설계파 산정만으로는 최근 몇 년간 수 차례 관측된 동해안에서의 이상고파를 적절하게 모의할 수 없으며 이에 대한 개선방안이 마련되어야 할 필요성이 있다.

**핵심용어:** 현장관측, 동계 계절풍, 이상고파, 천해설계파, 수치모형실험

\* 정회원 · 한국해양연구원 연안개발연구본부 항만·연안공간연구사업단 책임연구원 · wmjeoung@kordi.re.kr  
\*\* 정회원 · 한국해양연구원 연안개발연구본부 항만·연안공간연구사업단 연구원 · ryukh75@kordi.re.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국해양연구원 연안개발연구본부 항만·연안공간연구사업단 연수연구원 · ohsangho@kordi.re.kr

## 1. 서론

최근 몇 년간 동해안 일대에 강한 바람을 동반한 이상 고파(abnormally high waves)로 인해 여러 지역에서 방파제 및 어선 파손, 해안도로 붕괴, 주택 침수 등 많은 피해가 발생하였다. 이는 우리나라 동해안에서는 겨울에 북동풍이 2~3일간 지속적으로 불게 되면 너울(swell)이 발생하기 쉬운데 너울이 동해안에 영향을 미치는 시점에 너울의 진행 방향과 같거나 비슷한 방향으로 강풍이 불면서 형성된 풍파(wind waves)가 너울과 함께 해안으로 밀려 들어와서 고파(高波)가 발생하였기 때문이다.

일반적으로 최대 평균풍속이 14 m/s 이상이고 지속 시간이 3시간 이상이거나, 최대 순간풍속이 21 m/s 이상인 경우에 폭풍이라고 지칭한다(정, 1972). 지금까지는 폭풍 발생 시의 바람장(wind field) 또는 폭풍해일(storm surge)의 특성을 규명하는데 주안점을 두어 연구가 수행되었으며(하와이, 1984; 이 등, 2001; 송 등, 2003) 이상 고파 또는 폭풍파(storm waves)의 특성에 관한 연구는 수

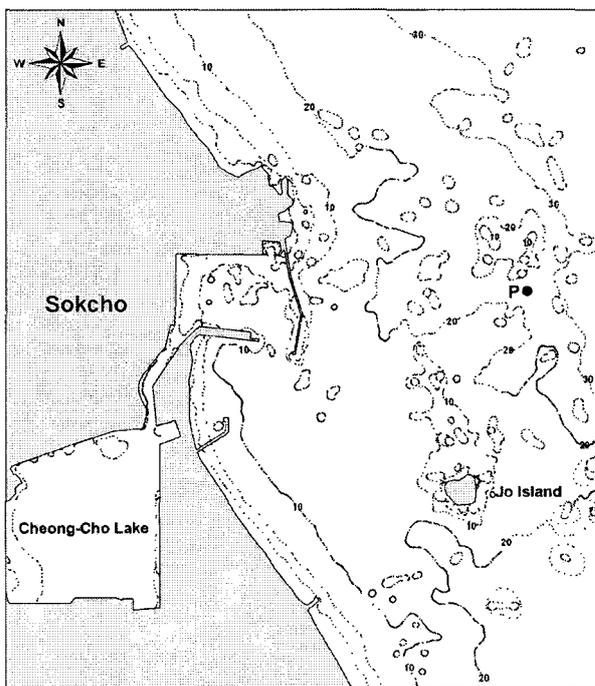


Fig. 1. Location map of field measurement station

행된 바가 매우 적다(최와 정, 1979; 정 등, 2001). 이처럼 폭풍파의 특성에 관한 연구가 미미한 이유는 폭풍의 발생을 사전에 예측하기 어렵고, 태풍과 같이 예측이 가능한 경우에도 관측 장비를 바로 설치하여 파 자료를 취득하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 따라서 폭풍파를 관측하기 위해서는 관심 대상 지역에 관측 장비를 설치하고 연속적으로 장기간 모니터링하는 것이 가장 바람직하다.

본 연구에서는 1999년 12월부터 속초항 방파제 외측의 1개 정점(Fig. 1 참조)에서 장기간의 현장관측을 통하여 얻어진 파랑 자료를 바람자료와 함께 분석하여 이상고파의 특성을 고찰하였다. 또한 속초 해역에서의 50년 및 100년빈도의 천해설계파고를 수치모형실험을 통하여 산정하여 속초에서 관측된 이상고파와 비교·검토하였다.

## 2. 현장 관측 및 자료 분석

파랑관측은 Fig. 1에 나타난 속초항 주방파제 외측으로 약 1.2 km 전방의 수심 18.5 m 지점(128°37'00.1"E, 38°12'28.8"N)에서 수압식 파고계(모델명: WTG-128M)를 설치하여 실시하였다. 파고계의 자료수집 시간 간격은 0.5초이며, 30분마다 2,048개의 자료를 사용하여 파 스펙트럼을 계산하였다.

수압식 파고계로 취득된 자료로부터 수압 스펙트럼을 계산하고 수심 및 주파수별로 미리 구해진 수압-해수면 변위간 전달함수를 수압 스펙트럼에 곱하여 해수면 변위에 대한 스펙트럼을 구하였다. 스펙트럼은 Cooley-Tukey FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘을 사용하여 계산하였다. 스펙트럼 분석법을 통하여 파 스펙트럼으로부터 통상 유의파고( $H_s$ )로 불리는 유의파고 추정치( $H_{m0}$ ) 및 스

펙트럼 침투 주기( $T_p$ )를 계산하였다. 유의파고 추정치는 식(1)과 같이 정의되며,

$$H_{m0} = 4 \sqrt{m_0} \quad (1)$$

$m_n$ 은 다음 식으로 주어지는 스펙트럼 밀도의  $n$ 차 모멘트이다.

$$m_n = \int_{f_1}^{f_2} f^n \cdot S(f) df \quad (2)$$

여기서,  $f$ 는 파의 주파수,  $S(f)$ 는 파의 스펙트럼 밀도를 각각 나타낸다. 하한 절단주파수(low cutoff frequency)  $f_1$ 은 자료 수신 장치의 특성에 따라 설정되며 통상  $f_1 = 0.04$  Hz로 설정하고  $f_2$ 는 잡음을 제거하기 위한 상한 절단주파수(high cutoff frequency)로써 통상 침투주파수의 3~4배로 설정한다.

한편, 파 관측점에서 가장 가까운 속초 기상대에서 관측된 1시간 간격의 10분 평균풍속 및 풍향 자료를 분석에 함께 이용하였다.

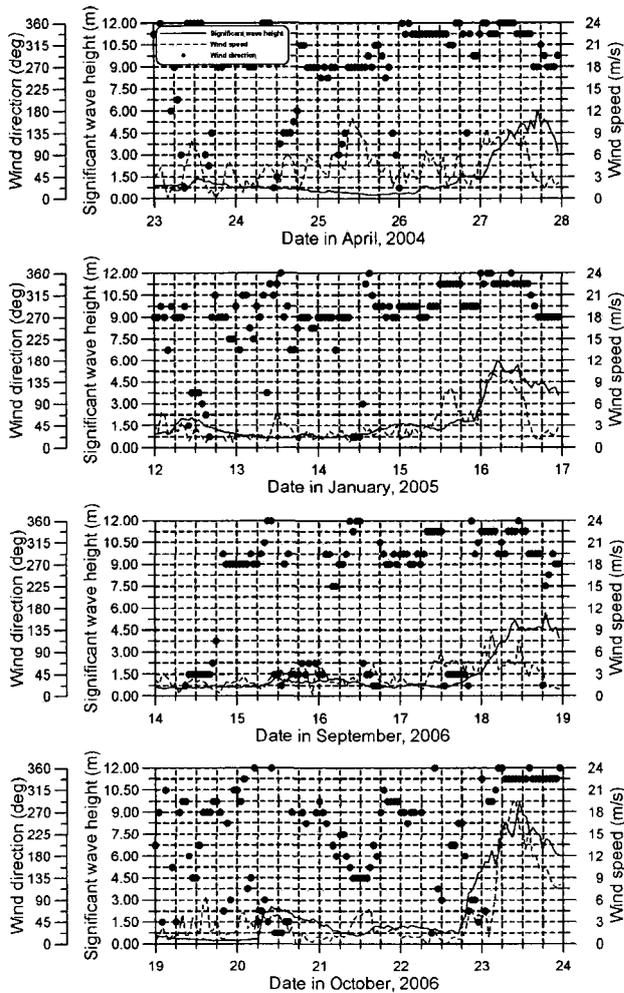


Fig. 2. Time series of significant wave heights, wind speeds and wind directions during the high storm waves

본 연구에서는 유의파고가 5.0 m를 초과하는 경우를 이상고파로 정의하여 자료 분석을 실시하였다. 자료 독취가 가능한 기간 동안 4회의 이상고파가 발생하였으며, 그 때의 유의파고는 각각 2004년 4월 27일 17시에 6.05 m, 2005년 1월 16일 05시에 6.00 m, 2006년 9월 18일 19시에 5.63 m, 10월 23일 11시에 9.69 m로 기록되었다. 특히 2006년 10월 23일 11시에 관측된 유의파고 9.69 m는 속초뿐만 아니라 동해안에서의 폭풍파 관측을 통해 보고된 사례가 없을 정도로 매우 큰 값이다. 이상고파가 발생한 시기중 2006년 10월 23일 11시에 속초 및 강릉 등 강원 북부 지방에서는 평균풍속 19.6 m/s의 가장 강한 바람이 관측되었다(Fig. 2, Table 1 참고).

Fig. 2에는 유의파고 5.0 m를 초과하는 각각의 시각을 전후로 만 5일간의 유의파고, 평균풍속 및 풍향의 시계열을 나타내었다. 그림에서 풍향이 표시되지 않은 점들은 바람이 정온한 상태임(풍속이 거의 0에 가까움)을 의미한다. Fig. 2를 살펴보면 이상고파가 발생했던 모든 경우에 비교적 바람이 강하게 불었음을 알 수 있다. 2004년 4월 27일과 2005년 1월 16일의 경우에는 파고가 높아지기 이전에 이미 바람이 상당히 세게 불었던 반면에 2006년 10월 23일의 경우에는 바람이 세지기 전에 너울의 영향으로 인해 이미 유의파고가 5~6 m의 크기로 상승하였고, 강풍이 계속 불어 따라서 매우 짧은 시간에 추가로 유의파고가 4~5 m 정도 더 상승하였다. 이러한

차이점은 Fig. 3에 보인 것처럼 관측된 파 스펙트럼을 통해 보다 분명하게 알 수 있다. 2004년 4월 27일과 2005년 1월 16일의 경우에는  $f = 0.1$  Hz 근처에 파 에너지가 집중되어 있는 반면에 2006년 10월 23일의 경우에는  $f = 0.07 \sim 0.08$  Hz의 주파수 대역 및 그보다 고주파수 대역에서 서로 다른 첨두값이 각각 나타난다. 이로부터 앞의 경우에는 너울 성분에 의해서 이상고파가 발생한 반면에 뒤의 경우에는 너울 뿐만 아니라 강한 바람에 의해서 국지적으로 발달한 파도 이상고파의 발생에 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

Table 1. Summary of wind speed, direction, and observation time of the fastest mean winds

최대 평균풍속		
풍속(m/s)	풍향	시각
2.8	W	2004/04/27, 17:00
10.1	NNW	2005/01/16, 05:00
3.9	NNE	2006/09/18, 19:00
19.6	NNW	2006/10/23, 11:00

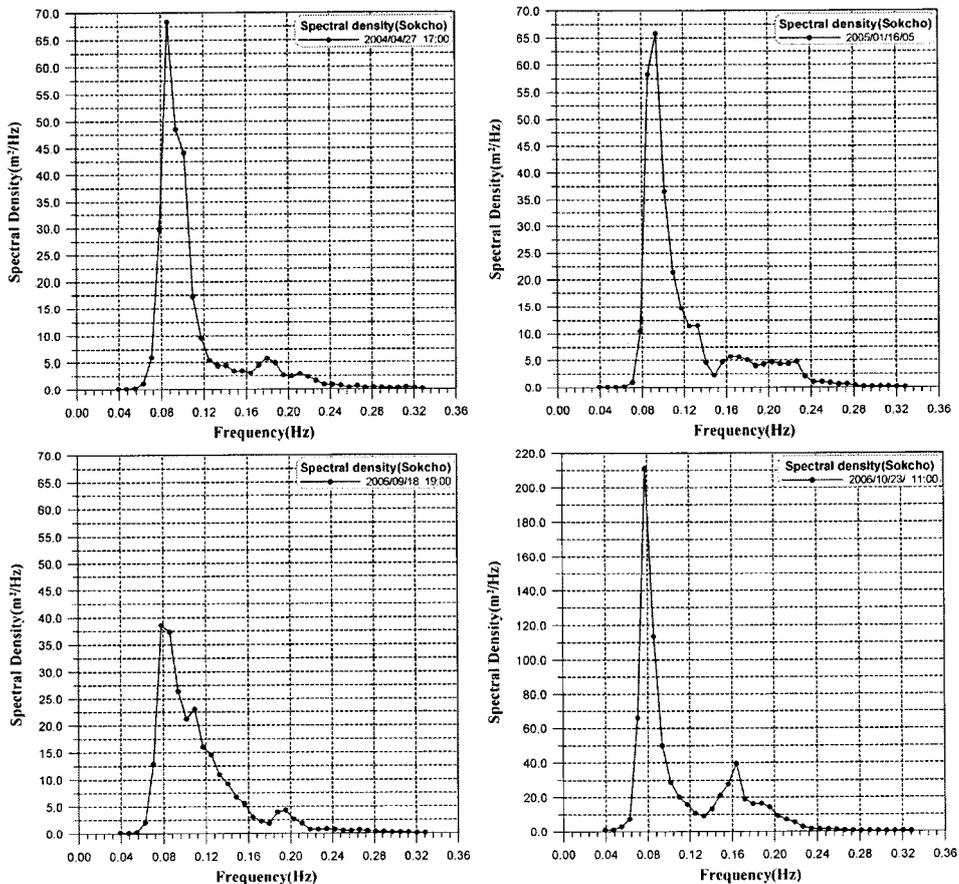


Fig. 3. Wave spectra during the high storm waves

### 3. 수치모형실험

수치모형실험은 전해역 심해설계과 추정 보고서(II) (한국해양연구원, 2005)를 참고하여 속초항 부근에서의 천해설계과를 검토하였다. 관측지점의 위치와 일반적인 천해설계과 산정기준을 고려하여 Table 2에 보인 것처럼 50년 및 100년 빈도일 경우에 NNE, NE, ENE, E, ESE, SE의 6개 파향에 대하여 수치모형실험을 수행하였다. 이를 위해서 다방향 불규칙파 모형 SWAN(Simulation WAves Nearshore) version 40.41B을 사용하였다. 이 모형은 에너지평형방정식을 지배방정식으로 하는 기존 모형들에 비해서 파의 회절을 모의하는 기능이 크게 개선된 것으로 알려져있다.

수치모형실험 결과, 50년빈도의 천해설계과고는 파향이 ESE 방향일 때 4.89 m의 최대값을 나타냈으며, 100년빈도 천해설계과고는 같은 파향(ESE)일 때에 5.68 m의 최대값을 나타내었다. ESE 다음으로는 NE방향의 파고가 50년빈도 및 100년빈도일 때 각각 4.57 m 및 4.72 m로 크게 나타났다. Table 3에 수치모형실험 결과를 정리하여 제시하였다.

Table 2. Test conditions for numerical simulation

	파향	재현빈도 50년		재현빈도 100년	
		파고	주기	파고	주기
KORDI 심해과 조건(II) (50년 빈도)	NNE	5.45	9.19	5.97	9.62
	NE	6.42	9.91	6.70	10.12
	ENE	5.69	7.78	5.87	7.90
	E	5.78	10.20	6.76	11.04
	ESE	6.99	11.11	8.42	12.19
	SE	3.55	8.21	3.95	8.66

Table 3. Wave heights estimated by the numerical simulation[m]

		NNE	NE	ENE	E	ESE	SE
파고	50년빈도	4.04	4.57	3.95	4.53	4.89	2.52
	100년빈도	4.23	4.72	4.04	5.15	5.68	2.73

수치실험 결과, 관측지점의 위치에서 50년빈도와 100년빈도 수치실험 결과 모두 파향 ESE 조건일 경우에 최대치로 나타났으며 각각 4.9 m와 5.7 m로 제시되었다. 그러나 이상 고파의 관측시기와 동시 관측된 풍향을 고려하면 관측파는 대부분 동계 계절풍에 의해 발생된 것으로 판단되었다. 2004년 4월 27일 17시에 관측된 파고의 경우도 관측 시점의 파향은 W이지만 파고 관측 시점 이전의 당일 관측된 풍향은 N~NNW으로 역시 동계 계절풍에 의해 발생된 것으로 판단되었다. 수치실험 결과, 동계 계절풍에 의한 NE계열의 최대값은 50년빈도 및 100년빈도 실험결과 모두 파향 NE에서 각각 4.6 m와 4.7 m로 제시되었다. 이로써 최근에 관측된 이상 고파가 100년빈도의 천해설계과고보다 훨씬 더 크다는 사실을 확인하였다.

#### 4. 토의 및 결론

2004년 1월 이후 유의파고가 5.0 m보다 큰 이상고파는 최소한 4회 이상 발생하였으며, 관측된 이상고파는 모두 태풍이 빈번하게 발생하는 하계가 아니라 가을에서 봄에 이르는 시기에 발생하였다. 이것은 동해안에서 동계에 부는 NNE~NNW 방향의 동계계절풍(동해신평)과 무관하지 않은 것으로 보인다. 수치모형실험을 통해서 이 지역에서의 천해설계파를 산정해보면 ESE 방향의 100년 빈도 파고가 5.68 m에 이를뿐이며, 특히 동계 계절풍의 주방향인 NNE~NNW 방향에 대해서는 모두 5.0 m보다 작은 값을 나타낸다. 따라서 수치모형실험만으로는 이처럼 동해안에서 계절적으로 발생하는 돌발성 폭풍파를 모의할 수 없으며 이것은 기본적으로 심해설계파의 산정에 이러한 영향이 엄밀하게 고려되지 않았기 때문이다. 따라서 향후 이 지역에서 심해설계파를 산정하는 경우에는 이에 대해서 적절하게 고려할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 특히, 최근에 지구 온난화를 비롯한 각종 이상 기후 현상이 더 빈번하게 대규모로 나타나고 있기 때문에 이러한 돌발성 이상 고파(高波)의 위력도 점차 증대될 것이므로 더욱 그 필요성이 커질 것으로 예상된다. 차후에 이와 관련해서 추가 연구를 수행할 계획이다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- 송봉근, 김영섭, 김연수 (2003). 태풍 “매미”에 의한 남해안 폭풍해일의 사례분석. 대기, 13(3), 314-315.
- 수산청 (1988). 해역별(동해·남해) 심해파 추정 보고서 (연구기관: 한국과학기술원 해양연구소).
- 이종섭, 주귀홍, 장선덕 (1990). 부산연안 폭풍해일의 변동양상과 수치예측. 한국해양-해양공학회지, 2(2), 104-111.
- 이호만, 서장원, 남재철 (2001). 2000년 여름 한반도 연안 폭풍해일 연구 대기, 11(1), 108-112.
- 정성호 (1972). 부산지방의 폭풍에 관하여. 한국기상학회지, 8(1), 31-37.
- 정원무, 채장원, 박우선, 이광수, 서경덕 (2001). 옥계항에서 관측된 폭풍파와 저중력파의 상호관계. 한국해양-해양공학회지, 13(3), 209-229.
- 최효, 정창희 (1979). 동해에서 발달하는 신평에 의한 파랑의 추정에 관한 연구. 한국기상학회지, 15(1), 35-43.
- 하경자, 이동규 (1984). 동해신평과 관련된 Jet류에 관한 연구. 한국기상학회지, 20(1), 8-19.
- 한국해양연구원 (2005). 전해역 심해설계파 추정 보고서 II.