

동해안에서의 이상 고파 Abnormally High Waves on the East Coast

정원무* · 오상호** · 이동영***

Weon Mu Jeong*, Sang-Ho Oh** and Dong Young Lee***

요 지 : 2006년 10월 23~24일 동해안 일대에서 발생한 이상 고파(高波)를 5개 지점에서 관측하고 기상청에서 제공하는 바람 자료를 함께 이용하여 고파의 특성을 분석하였다. 이번 이상 고파는 높은 너울이 동해안에 영향을 미치기 시작하는 시점에 동해상에 발달한 온대성 저기압의 영향으로 동해선풍이 지속적으로 강하게 불어서 발생하였다. 5개 관측 지점 중 가장 북쪽에 위치한 속초에서는 최대 순간풍속 63.7 m/s의 강풍과 최대 유의파고 9.69 m, 첨두주기 12.8 s의 고파가 관측되었다. 이처럼 높은 파가 발생한 이유는 강풍이 부는 동안 높은 너울이 지속적으로 유지되었고 강풍이 너울의 진행과 같은 방향으로 불어서 너울과 풍파의 중첩에 의한 파고 상승 효과가 극대화되었기 때문이다. 동해안에서는 겨울철에 이러한 돌발성 폭풍파가 발생할 가능성이 매우 높으므로 이를 고려하여 피해를 최소화하도록 대응 방침을 수립해야 할 것이다.

핵심용어 : 이상 고파, 폭풍파, 동해선풍, 현장 관측, 동해안

Abstract : Abnormally high waves occurring at the east coast of Korea were observed at five field measurement stations and their characteristics were analyzed with the use of wind data provided by the Korean Meteorological Administration. The high waves occurred because strong Donghae twister that was developed by extratropical cyclone blew while high swell arrived at the east coast of Korea. At Sokcho, the most northern site among the five measurement stations, maximum gust speed was 63.7 m/s and significant wave height reached at its maximum of 9.69 m with the corresponding peak wave period of 12.8 s. The reason for appearance of the abnormally high waves is that high swell continued while the twister blew strongly. Moreover, the wind direction was the same as the direction of swell propagation, which maximizes the increase of wave height due to superposition of swell and wind-generated waves. On the east coast of Korea, outbreak of this type of storm waves is very probable in winter season so that it is requested to establish a countermeasure of minimizing possible damage caused by the storm waves.

Keywords : abnormally high waves, storm waves, Donghae twister, field observation, east coast

1. 연구의 배경 및 목적

2006년 10월 23~24일 속초에서 울산 지역까지 동해안 일대에 강한 바람을 동반한 이상 고파(abnormally high waves)가 내습하여 여러 지역에서 방파제 및 어선 파손, 해안도로 붕괴, 주택 침수 등 많은 피해가 발생하였다. 우

리나라 동해안의 경우 겨울철에 북동쪽으로부터 바람이 2~3일간 지속적으로 불게 되면 너울(swell)이 발생하기 쉽다. 그런데 이번에 동해안에 내습한 파는 평년에 비해서 비정상적으로 파고가 컸는데, 그 이유는 너울이 동해안에 영향을 미치는 시점에 너울의 진행 방향과 같은 방향으로 강풍이 불면서 형성된 풍파(wind waves)가 너울과 함께 해안

*한국해양연구원 연안개발연구본부 항만·연안공간연구사업단(Corresponding author, Coastal Engineering Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Kyunggi 425-600, Korea, wmjeoung@kordi.re.kr)

**한국해양연구원 연안개발연구본부 항만·연안공간연구사업단(Coastal Engineering Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Kyunggi 425-600, Korea, ohsangho@kordi.re.kr)

***한국해양연구원 연안개발연구본부 연안방재연구사업단(Coastal Engineering Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Kyunggi 425-600, Korea, dylce@kordi.re.kr)

으로 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 여름철 태풍 및 겨울철 북서계절풍에 의해 남해 및 서해에서 발생하는 폭풍에 관한 연구가 주로 수행되었다(이 등, 1990; 조 등, 2001; 김, 2002). 반면에, 이번의 경우처럼 동해에서 계절적으로 발생하는 폭풍에 관해서는 연구가 미미한 실정이다. 주로 겨울철에 중국에서 발생한 온대성 저기압이 우리나라 동해상으로 진출하여 급속히 발달할 때 해상은 강풍이 발생할 가능성이 높아지는데 이를 동해선풍(회오리바람)이라고 한다(수산청, 1988). 동해선풍은 일반적으로 10월부터 그 다음 해 4월에 걸쳐서 주로 겨울철에 발생하며 연평균 4회 정도 동해안 일대에 폭풍을 일게 한다(김, 1972).

한편, 기존에는 주로 폭풍 발생 시의 바람장(wind field) 또는 폭풍해일(storm surge)의 특성을 규명하는데 주안점을 두어 연구가 수행되었으며(하와 이, 1984; 이 등, 2001; 송 등, 2003) 이상 고파 또는 폭풍파(storm waves)의 특성에 관한 연구는 수행된 바가 매우 적다. 몇몇 연구로 최와 정(1979)은 1976년 10월 29일에 동해선풍에 의해 발생한 폭풍파에 대한 수치계산을 수행하고 관측 결과와 비교한 바 있다. 보다 최근에 정 등(2001)은 옥계항에서의 폭풍파와 외중력파(far-infra-gravity waves)의 상호 관계를 검토하였다. 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 한국해양연구원에서 동해안의 속초항, 강릉 앞바다, 묵호항, 후포항 및 진하 해수욕장 부근의 천해역 5개 지점에 수압식 파고계를 설치하고 장기연속 관측을 실시하여 취득한 파랑 자료를 바탕으로 2006년 10월 23~24일에 발생한 이상 고파의 특성을 분석하였다. 또한, 파

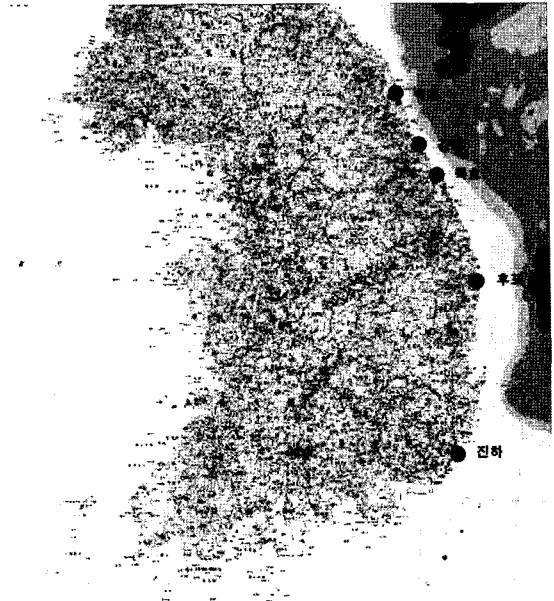


Fig. 1. Location map of field measurement stations.

고계가 설치된 지점의 인근 기상대에서 관측된 풍속 및 풍향 자료를 함께 분석하여 관측된 고파와 바람의 상관관계를 검토하였다.

2. 파 관측 및 기상 자료

파 관측은 Fig. 1에 나타난 동해안의 5개 지점에서 이루어졌다. 파 관측에는 수압식 파고계(모델명: WTG-128M)가 사용되었다. 각 지점별로 수압식 파고계가 설치된 수심을 Table 1에 제시하였다. 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. 본 연구에서는 Cooley-Tukey FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘(예: Bloomfield, 1976)

Table 1. Summary of significant wave height, peak period, and observation time of the largest waves at the five measurement stations

지점	수압계 설치 수심(m)	최대 유의파고(m)	첨두 주기(s)	시각
속초	18.5	9.69	12.80	10/23, 10:30
강릉	15.0	7.94	12.80	10/23, 10:30
묵호	15.2	9.07	12.80	10/23, 15:30
후포	18.5	5.74	14.22	10/23, 21:30
진하	18.9	6.42	14.22	10/24, 01:30

을 사용하여 스펙트럼을 계산하였다. 스펙트럼 분석법을 통하여 파 스펙트럼으로부터 통상 유의파고(H_s)로 불리는 유의파고 추정치(H_{m0}) 및 스펙트럼 침두 주기(T_p)를 계산하였다. 유의파고 추정치는

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

로 정의되며, 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 통상 자료 수신 장치의 특성에 따라 설정되며 본 자료 분석에서는 $f_1 = 0.04$ Hz로 설정하였다. f_2 는 잡음을 제거하기 위한 상한 절단주파수(high cutoff frequency)로써 통상 침두주파수의 3~4배로 설정한다.

한편, 파 관측점(Fig. 1 참고)에서 가장 가까운 기상대에서 관측된 1시간 간격의 10분 평균풍속 및 풍향 자료를 분석에 이용하였다. 평균풍속은 각 기상대의 해발고도가 서로 달라서 바람 관측 높이가 일정하지 않기 때문에 해면 위 10 m 높이에서의 풍속으로 보정하였다. 이 때 평균풍속이 다음과 같은 로그 분포를 따른다고 가정하여 보정을 수행하였다.

$$U_z = \frac{U_*}{k} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi\left(\frac{z}{L}\right) \right] \quad (3)$$

여기서, U_z 는 해수면 위 z m에서의 풍속, U_* 는 마찰속도, k 는 von Karman 상수(≈ 0.4), z_0 는 표면조도 길이, ψ 는 대기의 불안정성을 나타내는 함수로서 대기과 해수의 온도차에 따라 달라지는 Obukov 안정 길이 L 의 함수로 표현된다. 만약 대기과 해수의 온도차(ΔT)가 없

으면 $\psi = 0$ 이 된다. 그런데, 식 (3)을 사용해서 U_{10} 을 계산하기 위해서는 ΔT , U_* 및 z_0 의 값을 알아야하기 때문에 대기과 해수의 온도차가 없다고 가정하여 U_{10} 을 계산한 후에 다음과 같이 대기의 불안정성의 영향을 보정해주는 방법이 널리 사용된다(Coastal Engineering Research Center, 1984).

$$U = R_T U_{10} \quad (4)$$

여기서 R_T 는 Resio and Vincent(1977)가 제안한 값으로서 대기과 해수 온도차의 함수이다. 기상 관측 자료를 살펴보면 2006년 10월 하순에는 대기 온도가 해수 온도보다 대략 2~3 °C 낮았고, 이 때 $R_T = 1.1$ 정도의 값을 가지게 된다. 한편, 식 (3)에서 표면조도 길이를 $z_0 = 30$ cm로 가정하여 U_* 를 계산하고 이로부터 U_{10} 의 값을 계산하였다. 또한, 충분한 취송거리가 확보되었다고 가정하여 지속 시간에 대한 보정은 실시하지 않았다.

한편, Table 2에 보인 것처럼 이상 고파가 발생하였을 때 최대 순간풍속 및 풍향 자료도 수집하였다. 최대 순간풍속은 위와 같은 보정을 거치지 않은 각 기상대의 관측 값을 그대로 제시하였다. 풍속의 자료 수집 시간 간격은 0.25초이며, 최대 순간풍속은 연속된 순간풍속 시계열에 대하여 매 3초간 수집된 12개의 순간풍속 값 중에서 상위 세 개 값의 평균을 취하여 계산한다.

3. 분석 결과

10월 23일 12시(03 UTC 23 OCT 2006)의 지표면 기압 배치도를 Fig. 2에 나타내었다. 이 시간에 속초 및 강릉 등 강원 북부 지방에서는 평균풍속 10 m/s를 훨씬 초과하는 가장 강한 바람이 관측되었다(Fig. 3 참고). Fig. 2에서 동해 남부 해상에는 온대성 저기압, 중국 내륙에는 고기압이 형성되어 남북 방향으로 강한 기압 경사가 존재함을 알 수 있다. 특히 등압선 간격이 강원 북부 지방에서

Table 2. Summary of wind speed, direction, and observation time of the fastest mean winds and the greatest gusts at the five measurement stations

지점	해발고도(m)	최대 평균풍속			최대 순간풍속		
		풍속 (m/s)	풍향	시간	풍속 (m/s)	풍향	시간
속초	32.9	16.1	NNW	10/23, 11:00	63.7	NNW	10/23, 14:21
강릉	36.1	12.5	NNW	10/23, 12:00	28.7	NNW	10/23, 11:08
동해	49.5	10.3	N	10/23, 16:00	25.8	NNE	10/23, 13:30
울진	59.4	10.2	NNW	10/23, 18:00	30.9	NNW	10/23, 16:38
울산	44.6	5.6	N	10/23, 22:00	17.6	NNW	10/23, 21:50

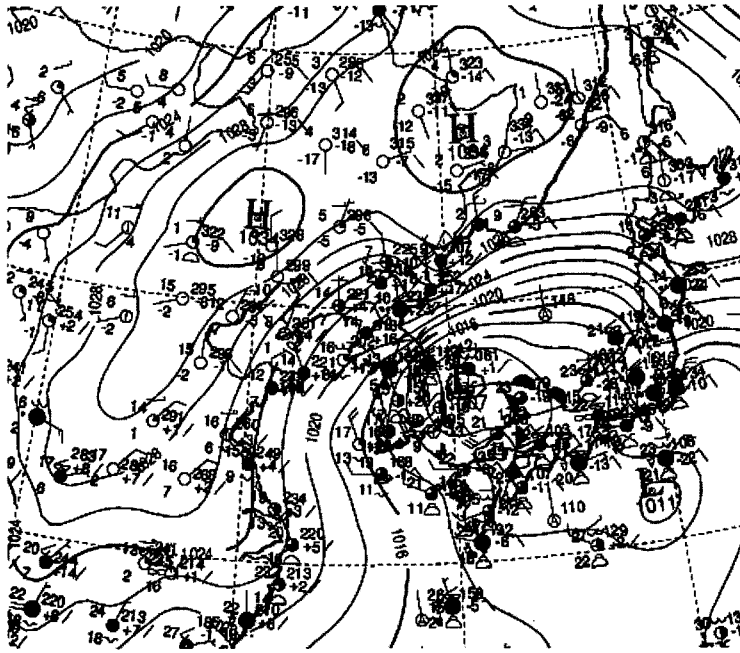


Fig. 2. Spatial distribution of atmospheric pressure at the earth surface (03 UTC 23 OCT 2006).

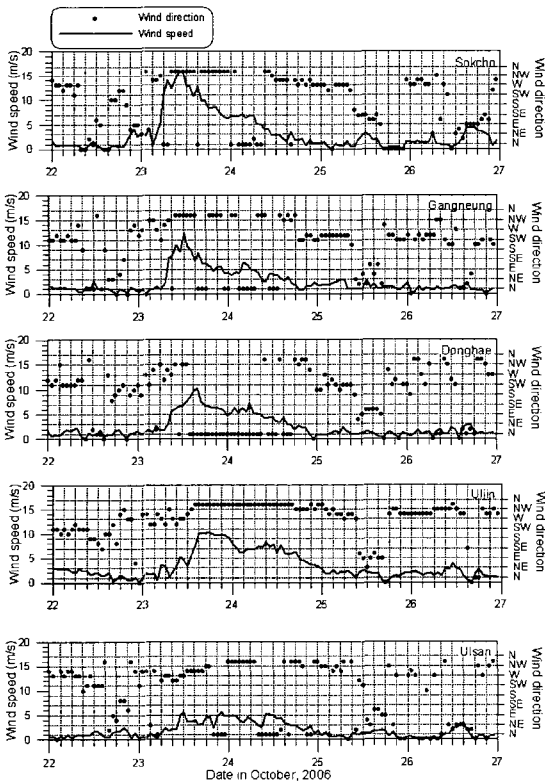


Fig. 3. Temporal variation of wind speeds and directions at the five measurement stations.

가장 좁아서 이 지역에서 바람이 가장 강하게 불었음을 짐작할 수 있다. 이처럼 동해상에서 남북 방향으로 매우 강한 경사의 기압 배치는 10월 21일부터 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 3에는 폭풍과 발생 전후인 10월 22일 0시부터 26일 23시까지 만 5일간의 평균풍속 및 풍향의 시계열을 나타내었다. 그림에서 풍향이 표시되지 않은 점들은 풍속이 거의 0에 가까움을 의미한다. 각 지점별 최대 평균풍속과 그 때의 풍향 및 관측 시각을 Table 2에 제시하였다. 10월 23일부터 24일까지 다섯 개 관측점에서 모두 강한 바람이 불었으며, 특히 속초의 경우에는 해상 10 m 높이에서의 최대 평균풍속이 16.1 m/s에 이르는 강풍이 불었다. 속초에서의 최대 순간풍속은 63.7 m/s에 이르렀으며 이것은 지금까지 강풍을 동반하여 우리나라에 영향을 미친 여러 태풍들의 최대 순간풍속과 비슷하거나 더 큰 값이다. 강릉, 동해, 울진에서의 풍속의 크기는 서로 비슷하며 속초에 비해서는 다소 작았다. 반면, 울산에서는 나머지 네 지점에 비해서 상대적으로 풍속이 작았다. 강풍이 부는 시간 동안의 풍향은 속초, 강릉, 울진에서는 NNW 방향이 우세하였고, 동해에서는 NNE 방향이 우세하였다. 울산에서는 NNW와 NNE 방향의 바람이 번갈아 나타났다. 한편, 파향은 수압식 파고계로 취득한 자료로부터는 파악할 수 없지만, Fig. 2에 보인 것처럼 남북 방향으로 강한 경사를 나타내는 기압 배

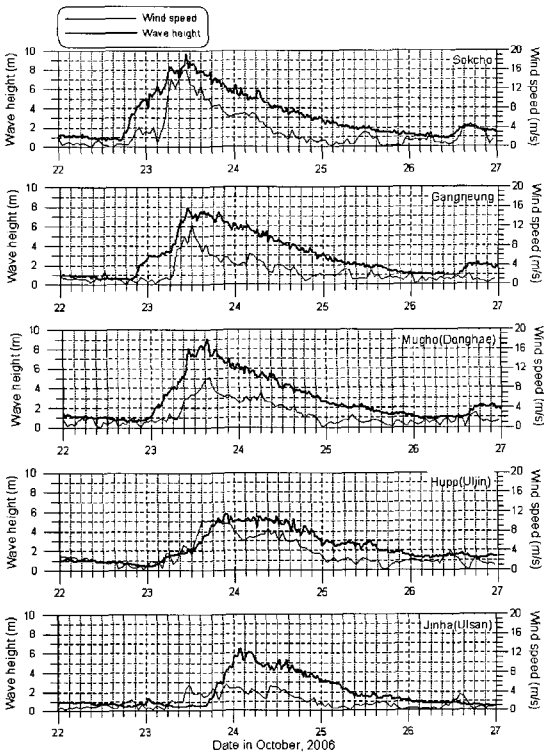


Fig. 4. Temporal variation of significant wave heights and wind speeds at the five measurement stations.

치가 이상고파의 침투깊이 관측되기 1~2일 전부터 지속적으로 나타났던 점으로 미루어 파향이 N또는 NE 계열이었을 것으로 추정할 수 있다.

Fig. 4에는 다섯 개 관측점에서 취득된 유의파고와 평균 풍속의 시계열을 나타내었고, Table 1에는 최대 유의파고의 크기 및 그 때의 침투주기와 관측 시각을 제시하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 속초, 강릉, 묵호에서는 바람이 세지기 전에 너울의 영향으로 인해 이미 유의파고가 4~5 m의 크기로 상승하였고, 강풍이 불게 됨에 따라서 매우 짧은 시간에 추가로 유의파고가 4~5 m 정도 더 상승하였다. 반면에, 후포와 진하에서는 강풍이 불기 전에 파고가 증가하는 현상이 관측되지 않았다. 이것은 너울이 이 지역에 도달하지 않은 것이 아니라, 강풍이 불기 시작한 후에 너울이 해안에 도달하였기 때문이다. 이러한 점은 Fig. 5에 보인 것처럼 관측된 파 스펙트럼을 통해 보다 분명하게 알 수 있다. 즉, 속초부터 진하에 이르기까지 모든 관측점에서 $f=0.07\sim0.08$ Hz 근처의 장주기 너울 성분이 공통적으로 관측된다. 다만, 후포에서는 풍속이 증가함에 따라서 파고도 상승하는 반면에, 진하에서는 풍속이 증가한 후 약 12

시간 정도 경과한 후에 파고가 상승하는 경향을 나타내었다. 한편, Table 1에 보인 것처럼 속초와 강릉에서는 동일한 시각에 최대 유의파고가 관측되었고, 묵호부터 진하에 이르기까지는 이로부터 몇 시간의 시간 간격을 두고 차례로 최대 유의파고가 관측되었다.

Fig. 5에는 각 관측점의 파 스펙트럼을 나타내었다. 시간의 경과에 따라 세 가지 스펙트럼을 제시하였고 각각 가는 실선, 중간 실선, 굵은 실선으로 선의 굵기를 달리하여 서로 구분하였다. 중간 실선의 스펙트럼은 유의파고가 최대일 때의 파 스펙트럼을 나타내며, 가는 실선 및 굵은 실선으로 표현된 스펙트럼은 최대 유의파고가 나타나기 전과 후 시간에서 유의파고의 크기가 최대 유의파고의 0.5 배일 때의 파 스펙트럼을 나타낸다. 유의파고가 최대일 때의 파 스펙트럼을 보면 모든 관측점에서 $f=0.07\sim0.08$ Hz의 주파수 대역 및 그보다 고주파수 대역에서 서로 다른 침투깊이 각각 나타나므로, 관측된 파랑장이 너울 및 국지적 바람에 의해 발달한 파의 두 가지 성분으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 반면에, 가는 실선 및 굵은 실선의 스펙트럼에서는 대체로 너울에 의한 장주기파 성분의 침투깊만이 나타난다. 주목할 만한 점은 모든 관측 지점에서 가는 실선 및 굵은 실선의 두 스펙트럼 형태가 거의 일치한다는 것이다. 한편, 강풍에 의해서 발달한 파 스펙트럼의 에너지는 너울의 침투주파수보다 고주파수 대역($f\geq 0.13$ Hz)에서 비교적 고르게 스펙트럼 에너지가 증가한다. 반면에, 저주파수 대역($f\leq 0.13$ Hz)의 스펙트럼에서는 침투주파수가 저주파수 쪽으로 이동하면서 스펙트럼의 침투깊은 성장하지만 침투주파수보다 약간 큰 주파수 대역에서는 스펙트럼 에너지가 거의 증가하지 않는데, 이것은 풍파의 포화 스펙트럼 특성에 따른 결과이다.

Fig. 5에 보인 파 스펙트럼에서 너울 및 풍파 성분에 의한 스펙트럼의 상대적인 에너지 크기를 비교하기 위해서 저주파수 및 고주파수 대역의 스펙트럼에 대한 각각의 유의파고를 계산하여 Table 3에 제시하였다. 너울 및 풍파 성분을 구분짓는 분리주파수는 Fig. 5에서 중간 실선으로 표현된 스펙트럼에서 첫 번째와 두 번째 침투깊 사이에서 스펙트럼의 에너지가 가장 작을 때의 주파수로 결정하였다. 한편 시각 1~3은 Fig. 5에 나타난 시간 순서대로의 시각을 나타낸다. 다섯 개 관측점 모두에서 너울의 유의파고가 풍파의 유의파고에 비해서 평균적으로 2배 정도 컸으며, 강풍에 의해서 너울 및 풍파의 유의파고가 모두 상승하였다. 후포를 제외하고는 파 스펙트럼이 상승하는 동안에 너울의 유의파고가 더 크게 상승하였는데, 이것은 후포의 경우

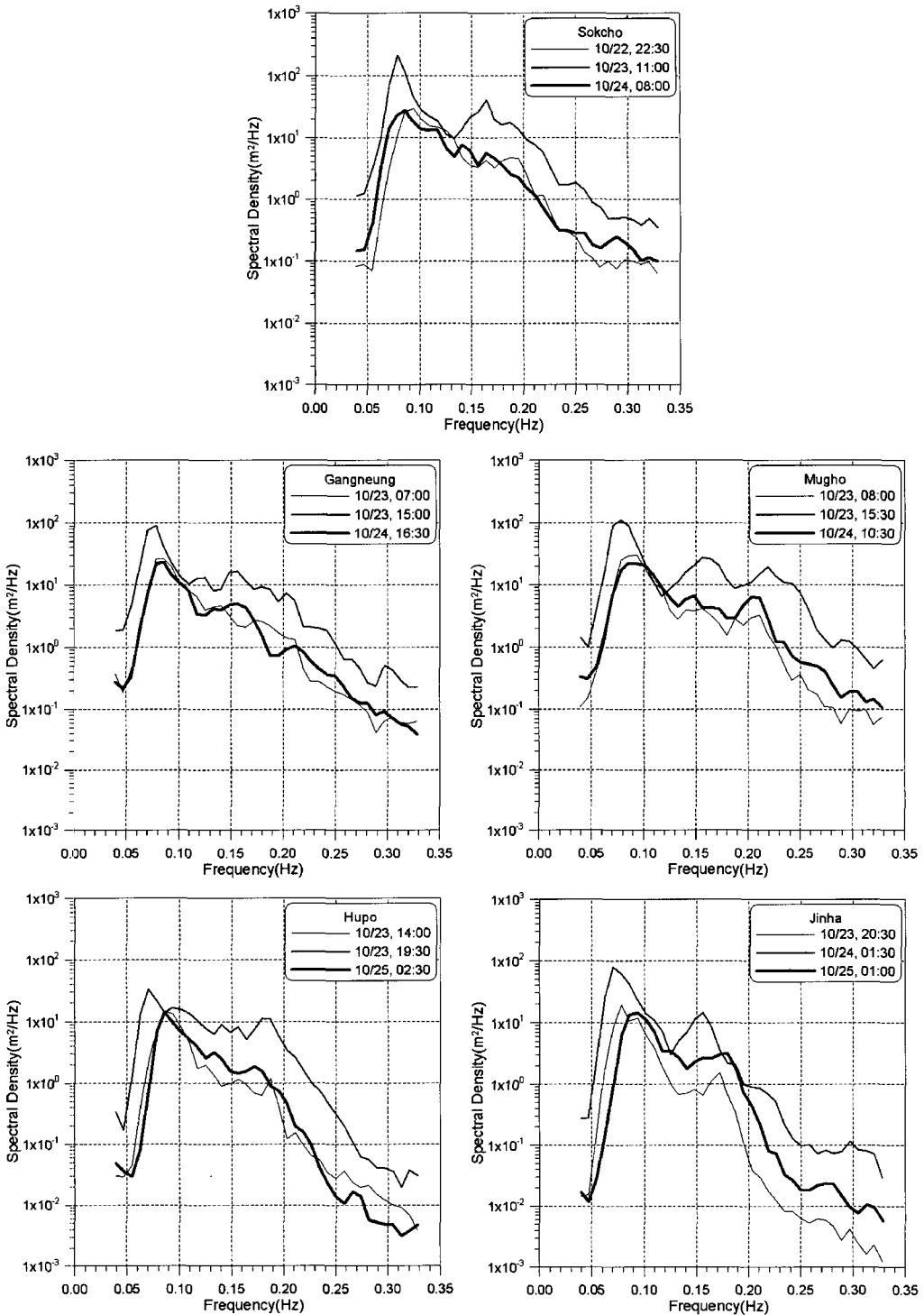


Fig. 5. Evolution of wave spectra during the high storm waves at the five measurement stations.

위의 세 관측점에 비해서 너울의 크기가 상대적으로 작았고, 반면에 상대적으로 매우 강한 바람이 9시간 정도 오랜 지속

시간 동안 불면서 전체 주파수 영역에 걸쳐서 파 에너지가 급속하게 성장하였기 때문이다. 이러한 특징은 Fig. 5에 보

Table 3. Comparison of significant wave heights contributed due to swell and wind-generated waves

지점	분리주파수 (Hz)	너울의 유의파고 (m)			풍파의 유의파고 (m)		
		시각 1	시각 2	시각 3	시각 1	시각 2	시각 3
속초	0.133	4.23	8.26	4.15	2.24	5.08	2.31
강릉	0.133	3.78	6.28	3.52	1.82	3.71	1.91
묵호	0.117	4.06	7.03	3.80	2.29	5.74	2.92
후포	0.133	2.62	4.39	2.58	0.97	3.09	1.29
진하	0.125	2.87	5.81	2.75	0.92	2.73	1.65

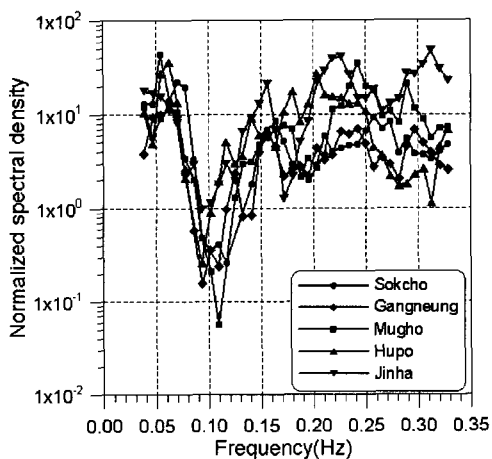


Fig. 6. Increasing rate of spectral densities at the five measurement stations.

인 후포의 중간 실선 스펙트럼에서 두 번째 첨두값이 상대적으로 미약하게 나타나는 것을 통해서도 확인할 수 있다.

한편, 다섯 개 관측점에서 주파수 별 스펙트럼 에너지 증가율을 파악하기 위해서 각 주파수 별로 중간 실선 스펙트럼에서 가는 실선 스펙트럼을 뺀 에너지를 가는 실선 스펙트럼의 에너지로 나눈 값을 Fig. 6에 제시하였다. 즉, Fig. 6은 최대 유의파고에 해당하는 파 스펙트럼의 각 주파수별 에너지가 최대 유의파고의 절반에 해당하는 스펙트럼에 비해서 상대적으로 얼마큼 증가했는지를 나타낸다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 모든 주파수 대역에 대해서 스펙트럼 에너지는 증가한다. 특히, 스펙트럼의 첨두주파수 ($f=0.07\sim0.08$ Hz) 부근에서의 에너지가 약 50배 커질 정도로 증가율이 매우 크며, 이러한 경향은 다섯 개 관측점에서 공통적으로 나타난다. 한편, 고주파수 대역 ($f \geq 0.13$ Hz)에서도 스펙트럼 에너지 증가율이 매우 큰 편인데, 첨두주파수 부근에서와는 달리 넓은 폭의 주파수 대역에 걸쳐서 스펙트럼 에너지가 증가한다. 이러한 경향 역시 다섯 개 관측점에서 공통적으로 나타나지만, 고주파수 대역에서의 에너지 증가율은 관측점에 따라서 차이가 큰 편이다.

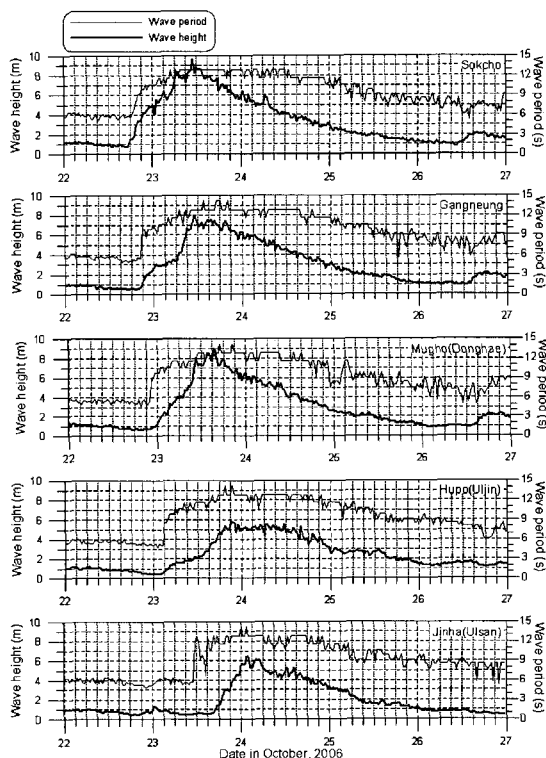


Fig. 7. Temporal variation of significant wave heights and peak periods at the five measurement stations.

Fig. 7에는 유의파고와 첨두주기의 시계열을 나타내었다. 각 관측점에 너울이 도달하여 유의파고가 증가하기 시작하는 시점에 첨두주기가 급격하게 증가함을 알 수 있다. Fig. 7을 Fig. 4와 비교해보면 강풍은 첨두주기에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 즉, 첨두주기를 결정짓는 것은 너울이며, 국부적으로 부는 강풍에 의해 성장한 파랑장은 첨두주기에 거의 영향을 미치지 않는다.

4. 토의 및 결론

2006년 10월 23~24일 동안 우리나라 동해안에서 관측

된 이상 고파는 높게 발달한 너울과 진행 방향이 거의 같은(NNE~NNW) 폭풍파가 동시에 발생하여 해안에 밀려 들어왔기 때문에 발생하였다. 특히, 너울이 해안에 영향을 미치기 시작하는 시점과 강풍이 불기 시작한 시점이 거의 일치하여 유의파고가 매우 짧은 시간에 크게 증가하였다. 이 기간 동안 다섯 개 관측점에서 관측된 파 중에서 속초에서 관측된 최대 유의파고 9.69 m, 침두주기 12.8 s의 파가 가장 컸다. 동해안에서의 유의파고가 10 m에 이르는 폭풍파 관측 결과는 지금까지 보고된 바가 전혀 없을 정도로 매우 큰 값이다. 이 지역에서의 NNE~NNW 방향의 50년 빈도 심해설계파의 파고는 6 m, 주기는 10 s 이내로 추산되고 있는데(한국해양연구원, 2005), 여기에는 이처럼 동해안에서 계절적으로 발생하는 돌발성 폭풍파의 영향이 엄밀하게 고려되지 않은 것이다. 먼 바다가 아닌 연안에서 50년 빈도 심해설계파의 2배 가까운 폭풍파가 관측되고 있으며, 이러한 폭풍파가 다시 재현될 가능성이 매우 높기 때문에 서해 및 남해에서와는 달리 동해에서는 태풍 뿐만 아니라 동해선풍과 같은 온대성 저기압에 따른 폭풍의 영향을 엄밀하게 고려하여 파랑을 추산해야 할 필요성이 있다. 특히, 최근에 지구 온난화를 비롯한 각종 이상기후 현상이 더 빈번하게 대규모로 나타나고 있기 때문에 이러한 돌발성 이상 고파(高波)의 위력도 점차 증대될 것이므로 더욱 그 필요성이 커질 것으로 예상된다.

육상과 달리 해상에서는 파를 관측할 수 있는 시설 및 장비가 부족하기 때문에 해안가 주변에 이상 고파가 돌발적으로 발생할 경우 피해 예방에 어려움을 초래하게 된다. 우리나라의 경우에 폭풍은 다른 자연재해에 비해서 상대적으로 빈번하게 발생하는 재해가 아니기 때문에 연안지역 주민 및 관계 기관의 대응이 신속하게 이루어지지 못하는 문제점이 있다(송 등, 2003). 이번 폭풍파의 경우에서도 알 수 있듯이 속초, 강릉 지방에는 최대 고파 발생이 거의 같은 시간에 관측되었지만, 그보다 남쪽에 위치한 관측점에서는 적게는 5 시간에서부터 많게는 15 시간 정도 경과한 후에 고파 발생이 관측되었다. 따라서 이러한 점을 주지하여 해당 지역의 주민 및 관계 기관이 대응 방침을 수립하면 피해를 많이 줄일 수 있을 것이다.

한편, 이 연구에서는 하나의 이상 고파 관측 자료만을 대상으로 파 특성을 분석하였지만, 향후 더 오랜 기간 동안의 관측 자료가 취득되면 여러 개의 폭풍파 관측을 토대로 보다 종합적인 분석이 이루어질 수 있을 것이다. 또한 이 연구에서는 폭풍파 파랑장의 수면변위의 변동 특성

에 관해서는 분석을 수행하지 않았는데, 차후에 이와 관련하여 추가 연구를 수행할 계획이다.

사 사

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

참고문헌

- 김성삼 (1972). 봄의 동해선풍의 발달기구에 관한 연구. 한국기상학회지, 8(1), 1-11.
- 김용수 (2002). 겨울철 서해남부해상의 폭풍 및 파랑 특성 분석. 대기, 12(1), 1-3.
- 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).
- 이중섭, 주귀홍, 장선덕 (1990). 부산연안 폭풍해일의 변동양상과 수치예측. 한국해양해양공학회지, 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. 한국해양해양공학회지, 13(3), 209-229.
- 조서환, 안기창, 유승아, 이재원 (2001). 겨울철 서해해상의 폭풍 선행조건과 예측성. 대기, 11(3), 181-184.
- 최효, 정창희 (1979). 동해에서 발달하는 선풍에 의한 파랑의 추정에 관한 연구. 한국기상학회지, 15(1), 35-43.
- 하경자, 이동규 (1984). 동해선풍과 관련된 Jet류에 관한 연구. 한국기상학회지, 20(1), 8-19.
- 한국해양연구원 (2005). 전해역 심해설계파 추정 보고서 II.
- Bloomfield (1976). Fourier analysis of time series: An introduction. John Wiley & Sons, Inc.
- Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers (1984). Shore Protection Manual.
- Resio, D.T. and Vincent, C.L. (1977). Estimation of winds over the Great Lakes. Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, 103(2), 265-283.

Received March 27, 2007

Accepted June 29, 2007