

## 대진폭 해양파의 특성에 대한 연구

김도영<sup>\*</sup>  
홍익대학교

### A Study on the Characteristics of Large Amplitude Ocean Waves

Do Young Kim<sup>†</sup>

Department Naval Architecture and Ocean Engineering, Hongik University, Jochiwon, Chungnam, Korea

#### 요 약

이 논문에서는 freak wave가 포함된 시계열 파랑자료를 분석하였다. freak wave가 포함된 자료와 포함되지 않은 자료에 대하여 여러 가지 파랑 특성을 비교하였다. 파랑 자료는 Yura 해역에서 24시간 연속으로 측정된 자료를 분석하였고, 그 중에서 freak wave가 발생한 30분 동안 파랑과 인접한 30분간의 파랑자료를 집중적으로 분석하였다. 최대파의 파주기가 가장 긴 주기가 아닌 것을 볼 수 있다. 최대파의 파주기는 평균파주기보다 약간 길며, 유의파의 파주기보다는 짧은 것을 볼 수 있었다. 비록 해상 상태는 높지만, 레일리분포로 파고의 확률분포를 잘 표시할 수 있었다. Freak wave의 발생 전후의 파랑자료를 비교해 보면, 파랑스펙트럼의 특성은 큰 차이를 보이지 않으며, 발생한 경우에 비선형성이 증가한 것을 볼 수 있다. 그리고 freak wave 발생 직 후에 오히려 유의파고의 크기가 크게 나타났다. 따라서 유의 파고가 높은 것이 항상 freak wave의 발생확률을 높이지는 않는 것을 볼 수 있다.

**Abstract** – In this paper time series wave data which contain a freak wave is investigated. Various wave characteristics are compared between wave data with a freak wave and without. Among 24 hour wave data measured in the Yura Sea, two adjacent 30 min wave data with and without a freak wave are examined intensively. It is seen that the highest waves do not have the longest wave period. The wave period of the longest period waves is a little longer than the average wave period and much shorter than the significant wave period. Although the sea state is quite high, the Rayleigh distribution fits well to the probability of wave height. The characteristics of the wave spectra do not change much, but the nonlinearity increases for the wave data with a freak wave. The significant wave height without a freak wave is larger than that with a freak wave. Hence, the higher significant wave height does not always increase the probability of the occurrence of the freak waves.

**Keywords:** 대진폭파(Large Amplitude Wave), Freak wave, 해양파 파고분포(Ocean Wave height distribution), 레일리분포(Rayleigh distribution), 파고-파주기 상관관계(wave height-period relation)

#### 1. 서 론

최근에 보통의 해양파의 파고의 범위를 벗어나는 매우 높은 파 즉 freak wave(또는 rogue wave로 불린다)에 대한 관심이 증가되고 있다. 이러한 파의 특성 파악과 발생 원인을 규명하기 위해 freak wave 및 대진폭파의 파고분포에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이에 대한 정확한 발생원인은 아직 알려지고 있지 않고 있는 실정이다. 일반적으로 freak wave는 파고가 유의파고의 2

배가 넘는 비정상적으로 큰 파도로 정의되고 있다.

이 정의에 따른다면 파고의 절대 크기가 크지 않더라도 freak wave로 분류될 수 있다. 이러한 이유로 혹자는 freak wave의 정의에서 파고의 절대 크기가 10m 이상이 되는 조건을 추가로 포함하기도 한다.

Freak wave 또는 rogue wave라고 부르는 매우 커다란 파는 해상에서 돌연 일어난다는 것이 오래전부터 선원을 통해서 제기되어 왔었다. 그러지만 선형파 이론에 의한 파고의 Rayleigh분포 확률에 의하면, 파고가 유의파고의 2배 이상이 되는 파도가 발생할 확률이 매우 작아서 현실적으로는 일어날 가능성이 매우 낮기 때

<sup>\*</sup>Corresponding author: dykim@hongik.ac.kr

문에, freak wave의 발생은 확률 이론적으로 거의 불가능한 것으로 인식되어 왔다. 그러나 최근 해상에서 습득한 파랑자료를 통하여 매우 큰 파도의 발생이 실제로 일어나고 있다는 것이 확인되었고, freak wave는 생각보다 많이 발생한다는 것으로 인식되기 시작하였다(Liu & Pinho, 2002).

Freak wave는 돌연 발생하는 대형 선박의 실종과 사고와 연관이 되고 있다고 추정되고 있다. 발생한 Freak wave의 파고는 종종 수십 미터가 될 정도로 매우 크기 때문에, 대형 선박이라도 한 순간에 침몰시키고 심각한 구조적 손실을 입히게 된다. Freak wave가 선박에 미치는 하중은 기존의 전통적인 해석에 의한 하중에 비해 그 크기가 수배에 달할 수 있는 것으로 추정되기 때문에, 선박을 새로운 규칙에 의해서 재설계를 해야 하는 지에 대한 논의가 많이 되고 있다. 그러나 아직 freak wave의 발생원인과 그리고 특성이 명확하게 규명되어 있지 않기 때문에 구체적인 연구 진행이 어려운 실정이다. 이를 위해서 freak wave의 발생 원인과 특성이 먼저 연구되어야 하는 것이 필수적이다.

Stansell [2002]은 freak wave가 포함된 파랑자료의 통계적 특성을 살펴보았으며, Rayleigh 이론과 다른 이론과의 비교를 하였다. Mori 등은 [1997, 2002]는 동해의 일본 근해 Yura 지역에서 측정된 freak wave가 포함된 파랑자료를 분석하였다. 그들은 비선형 급수인 Edgworth-Rayleigh(ER) 급수를 이용하여 파고의 분포 확률을 계산하였고 Rayleigh 분포와 비교하였다. 그 결과 ER급수를 사용한 것은 자료와 비교적 잘 일치하는 것을 보였으며, Rayleigh 급수는 파정의 크기는 과소평가하고, 파저의 크기는 과대평가하는 것을 보였다. 그렇지만 파고의 초과확률의 경우는 오히려 Rayleigh 분포가 파랑자료와 오히려 더 잘 일치하는 결과를 보이는 것으로 나타났다. 이것은 Rayleigh 분포에서는 파정과 파저의 크기를 파고의 절반씩으로 동일하게 설정되어 있어서, 파정과 파저의 분포에서 발생한 오차가 서로 상쇄되어지기 때문이다. 이러한 이유 때문에 Rayleigh 분포가 1개 인자로 표시된 함수이고 그리고 선형 이론과 협대역의 가정을 가지고 있지만 실제 파고가 큰 비선형파의 경우에도 좋은 결과를 보이고 있다는 것은 많이 알려져 있다. 그리고 Rayleigh분포는 함수의 사용의 편의성이 있어서 비선형파의 파고분포에도 많이 사용되고 있다. Rayleigh 분포함수는 평균적으로는 미소진폭파의 파랑부터 대진폭 파랑의 계측치와 일치하지만 파형분포에 따라 과소 또는 과대평가되는 곳이 발생한다. 그러나 freak wave의 발생 확률은 Rayleigh 분포로는 오히려 과소평가되는 것을 보여주었다.

본 논문에서는 대진폭 파랑의 특성을 파악하기 위해서 freak wave가 포함된 파랑자료를 이용하여 파랑의 각종 통계적 특성을 살펴보고 이를 이용해 freak wave의 특성을 살펴보고자 한다.

## 2. Freak wave가 포함된 파랑자료의 해석

Fig. 1에 일본 Yura 해역에서 1990년 1월 25일 계측된 파고 중 freak wave가 포함된 30분간의 파형을 보여주고 있다. 이 자료는

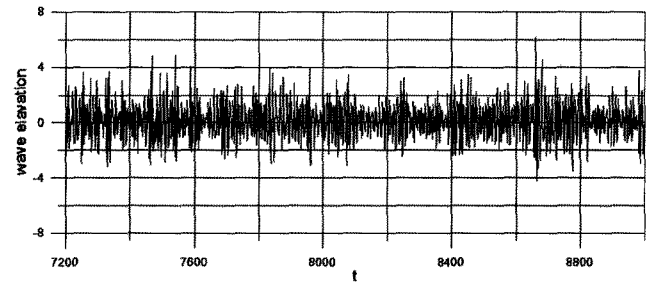


Fig. 1. Wave elevation in 30 minutes which contains an extreme freak wave.  $H_{max}=10.39$  m and  $H_{1/3}=4.89$  m giving  $H_{max}/H_{1/3}=2.12$ . Wave data from Yura Sea in Japan (1990) (D0012401-W05).

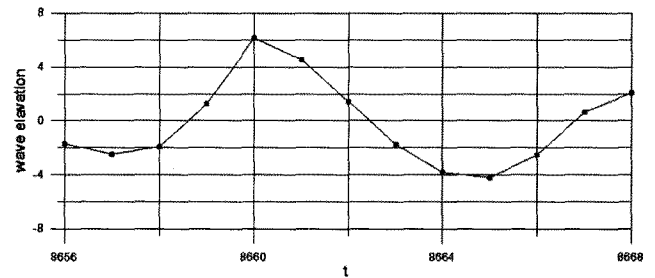


Fig. 2. The most extreme freak wave shown in context of the 30-min record, and in detail.  $H_{max}=10.39$  m,  $T_z=8.18$  and  $H_{1/3}=4.89$  m giving  $H_{max}/H_{1/3}=2.12$ . Wave data from Yura Sea in Japan (1990) (D0012401-W05).

일본의 운송부의 Ship Research Institute에 의해서 수행된 'At-sea Experiment of a Floating Offshore Structure'에서 얻은 자료를 사용하였다.

파고측정에 사용된 파고계는 초음파식 파고계(Ultra sonic wave height meter)이며, 설치 지역 수심은 45 m이다. 측정 주파수는 1 Hz로 파랑자료를 획득하였다. 본 연구에 사용된 파랑자료의 파일 이름은 D0012501.dat로 명명되어 있다. 여기서 D는 자료를 의미하고, 처음 숫자 0은 1990년 다음 숫자 01은 1월 그 다음 숫자 25는 25일 그리고 마지막 숫자 01은 파고계 구분으로 되어 있다. 본 연구에서 사용한 파랑자료는 총 85458개의 자료로 구성되어 있어 약 24시간 동안 기록된 파랑자료이다. 이 자료 중 시간이 8600초에 해당하는 시점에 최대 파고가 계속되어 있었다. 본 연구에서 시간 별로 30분(1800초)씩 잘라서 파랑자료를 정리하였다. Fig. 1에 보여준 그림은 30분씩 잘라서 정리한 5번째 파랑자료로 D0012401-W05로 명명하였다.

Fig. 2에 계측된 freak에 일어날 때의 수면변위를 자세하게 나타내었다. 파정이 정수면에서 6 m 정도 올라가 있으며, 파저가 정수면에서 약 4 m 정도 내려가 있는 것을 볼 수 있다. 30분간 계측 파랑의 주요 통계적 특성을 Table 1에 정리하여 표시하였다.

Table 2에의 파고의 확률분포와 Rayleigh분포의 값을 비교하여 표시하였고 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 표시하였다. Fig. 3과 Fig. 4에서 파고의 확률분포는 Rayleigh분포와 약간 차이가 나는 것을 볼

**Table 1.** Characteristics of 30 minute wave record (D0012401-W05) which contains highest wave height during 24 hour measurements at the Yura Sea, Japan on Jan. 25, 1990

Characteristics of wave record D0012401-W05	
Number of zero crossing	234
Number of waves	233
Significant wave height ( $H_{1/3}$ )	4.89 m
Significant wave period ( $T_{1/3}$ )	9.33 s
Highest 1/10 wave height	6.31 m
Average wave height	3.02 m
Average wave period	7.73 s
Maximum Wave height	10.39 m
Wave period of maximum wave height	8.18 s
RMS of wave height	3.4542 m

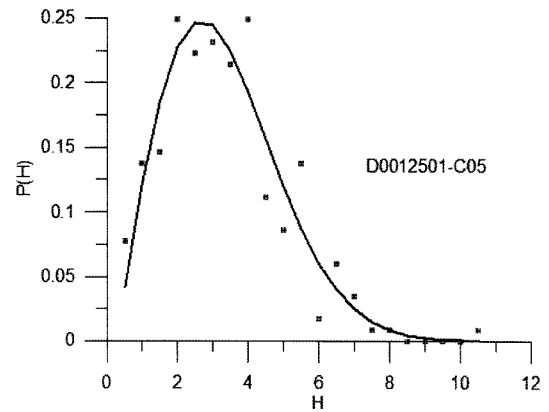
**Table 2.** Probability of wave height distribution,  $p(H)$  and cumulative wave height distribution  $P(H)$ .  $p_{Ray}$  denotes values from the Rayleigh distribution. (D0012401-W05)

Wave Height	Occurrence	$p(H)$	$p_{Ray}$	$P(H)$	$P_{Ray}$
0.0~0.5	9	0.07725	0.04169	0.03863	0.02073
0.5~1.0	16	0.13734	0.11993	0.10730	0.08039
1.0~1.5	17	0.14592	0.18381	0.18026	0.17186
1.5~2.0	29	0.24893	0.22693	0.30472	0.28483
2.0~2.5	26	0.22318	0.24674	0.41631	0.40774
2.5~3.0	27	0.23176	0.24457	0.53219	0.52965
3.0~3.5	25	0.21459	0.22478	0.63949	0.64180
3.5~4.0	29	0.24893	0.19342	0.76395	0.73840
4.0~4.5	13	0.11159	0.15677	0.81974	0.81679
4.5~5.0	10	0.08584	0.12017	0.86266	0.87696
5.0~5.5	16	0.13734	0.08735	0.93133	0.92076
5.5~6.0	2	0.01717	0.06034	0.93991	0.95106
6.0~6.5	7	0.06009	0.03966	0.96996	0.97101
6.5~7.0	4	0.03433	0.02485	0.98712	0.98354
7.0~7.5	1	0.00858	0.01484	0.99142	0.99103
7.5~8.0	1	0.00858	0.00846	0.99571	0.99532
8.0~8.5	0	0	0.00461	0.99571	0.99765
8.5~9.0	0	0	0.00240	0.99571	0.99887
9.0~9.5	0	0	0.00119	0.99571	0.99948
9.5~10.0	0	0	0.00057	0.99571	0.99977
10.0~10.5	1	0.00858	0.00026	1.00000	0.99990

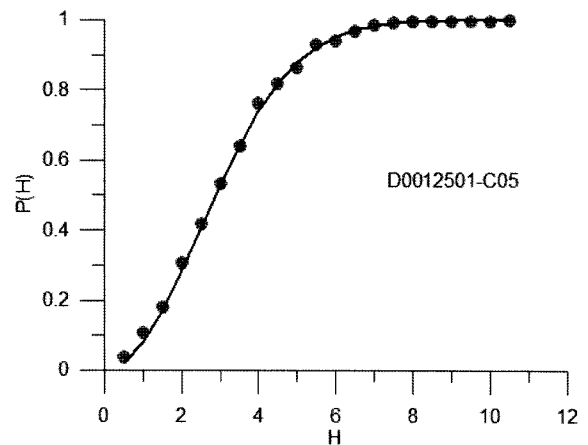
수 있지만 누적확률분포는 잘 일치하는 것을 볼 수 있다

Table 3에는 파고 상위 10위에 드는 파도의 파고와 그에 해당하는 주기, Table 4에서는 파주기 상위 10위에 해당하는 파고와 그에 해당하는 파고를 표시하였다. 이 결과에서 파고가 높은 파도와 주기가 긴 파도가 서로 밀접하게 연관되고 있지 않음을 볼 수 있다. 가장 높은 파도는 주기계급별로는 223개의 파랑중 114번째에 해당하며, 최대파고의 주기는 평균파의 파주기보다 조금 큰 것을 볼 수 있고 평균  $T_{1/3}$ 보다도 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있다.

파고와 주기와의 관계를 더 살펴보기 위해서 Fig. 5에 파고와



**Fig. 3.** Wave height distribution (D0012401-W05).



**Fig. 4.** Cumulative Wave height distribution (D0012401-W05).

**Table 3.** Top ten highest wave and their periods. (D0012401-W05)

rank	H	$T_z$
1	10.393	8.18
2	7.673	8.29
3	7.062	8.15
4	6.901	10.16
5	6.842	10.08
6	6.72	8.51
7	6.564	9.55
8	6.413	9.84
9	6.364	9.56
10	6.305	9.81

파주기 분포를 표시하였다. 평균적으로 파고가 커지면 이에 해당하는 파주기는 길어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 최대파 또는 높은 파고를 가지는 파도의 주기는 오히려 평균 파주기 근처 또는 약간 긴 곳에 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 그리고 freak wave 가 나타난 최대파고는 다른 파도 그룹과는 다르게 2 m 이상 유별나게 높은 파고가 홀로 나타나는 것을 볼 수 있다.

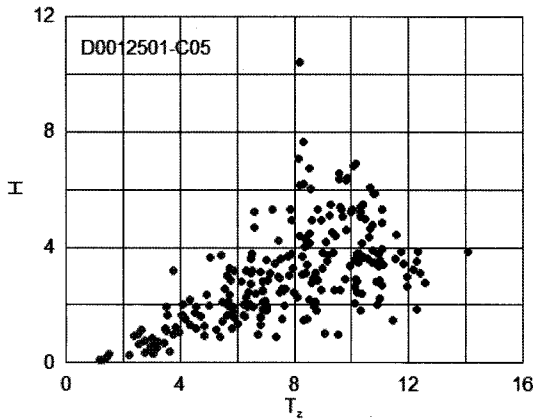
Fig. 6에는 파랑스펙트럼을 표시하였다. FFT를 수행한 후 최종 spectrum resolution을 0.01 Hz로 표시하였다. Table 5에는 파랑스

**Table 4.** Top ten longest period waves and their heights. (D0012401-W05)

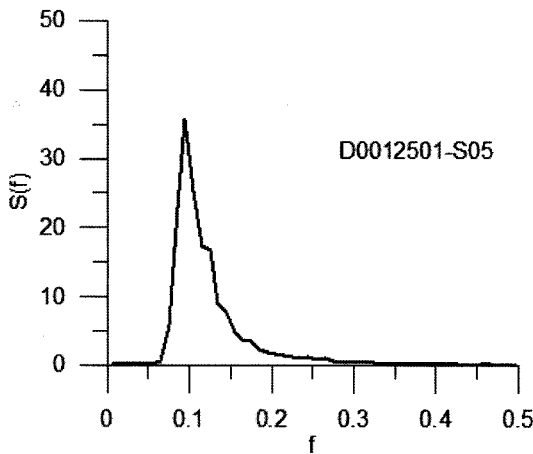
rank	$T_z$	H
1	14.07	3.858
2	12.56	2.764
3	12.39	3.096
4	12.33	3.858
5	12.29	3.512
6	12.28	1.861
7	12.14	3.223
8	11.96	2.999
9	11.96	2.652
10	11.80	3.424

**Table 5.** Characteristics of a wave spectrum. (D0012401-W05)

Characteristics of Wave spectrum	
$m_0$	1.7152
$m_1$	0.2130
$m_2$	0.0316
$H_s$	5.24 m
$T_z$	7.37 s
$T_1$ (mean)	8.04 s
$f_p$ (peak)	0.0950 $s^{-1}$
$\nu$ (bandwidth)	0.4380
$S_s$ (steepness)	0.0667
$H_{1/3}/H_s$	0.933



**Fig. 5.** Wave height and wave period relation (D0012401-W05).



**Fig. 6.** Wave spectrum (D0012401-W05).

**Table 6.** Wave Spectrum (D0012401-W05)

f	S(f)	f	S(f)
5.00E-03	2.00E-01	2.55E-01	8.15E-01
1.50E-02	1.60E-01	2.65E-01	1.13E+00
2.50E-02	1.35E-01	2.75E-01	6.10E-01
3.50E-02	1.13E-01	2.85E-01	4.45E-01
4.50E-02	1.50E-01	2.95E-01	4.99E-01
5.50E-02	1.83E-01	3.05E-01	3.32E-01
6.50E-02	6.60E-01	3.15E-01	3.72E-01
7.50E-02	5.92E+00	3.25E-01	3.62E-01
8.50E-02	2.28E+01	3.35E-01	2.12E-01
9.50E-02	3.58E+01	3.45E-01	2.94E-01
1.05E-01	2.53E+01	3.55E-01	1.71E-01
1.15E-01	1.74E+01	3.65E-01	1.84E-01
1.25E-01	1.66E+01	3.75E-01	1.75E-01
1.35E-01	9.06E+00	3.85E-01	1.52E-01
1.45E-01	7.82E+00	3.95E-01	9.40E-02
1.55E-01	4.77E+00	4.05E-01	1.39E-01
1.65E-01	3.44E+00	4.15E-01	1.75E-01
1.75E-01	3.44E+00	4.25E-01	1.02E-01
1.85E-01	2.28E+00	4.35E-01	8.57E-02
1.95E-01	1.86E+00	4.45E-01	8.19E-02
2.05E-01	1.57E+00	4.55E-01	1.50E-01
2.15E-01	1.50E+00	4.65E-01	9.88E-02
2.25E-01	1.34E+00	4.75E-01	6.72E-02
2.35E-01	9.97E-01	4.85E-01	1.13E-01
2.45E-01	1.15E+00	4.95E-01	7.62E-02

### 3. Freak wave가 포함되지 않은 파랑자료의 해석

펙트럼의 대표적인 통계적 특성을 표시하였다. 여기서  $m_n$ 은 스펙트럼의  $n$ 차모멘트이고,  $H_s=4(m_0)^{1/2}$ 로 정의하였다. Table 6에 스펙트럼의 값을 표시하였다.  $H_{1/3}/H_s$  값은 비선형 척도를 나타내는 파라미터이며, 선형파인 경우 값이 1.0을 가지게 되고 1.0에서 벗어날수록 비선형성이 커진다. 대부분의 해양파인 경우 0.9에서 1.0 사이의 값을 가지게 되며, 수정 Rayleigh분포의 파라미터로 사용할 수 있다(Kim, 1988).

Fig. 7에 freak wave가 발생한 파랑자료 이후의 30분간 계측된 수면변위의 시계열 자료(D0012401-W05)를 나타내었다. 그리고 Fig. 8에 30분간 계측된 파랑에서 나타난 최대 파랑의 수면변위를 자세히 표시하였다. Table 7에 계측된 파랑의 대표적인 통계적 특성을 표시하였고 Table 8에 파고의 확률분포를 표시하였다. 그리고 그 결과를 Fig. 9과 Fig. 10에 표시하였다.

Table 9와 Table 10에 각각 상위 파고 10개의 파고와 주기를 그리고 상위 파주기 10개 파랑의 주기와 파고를 표시하였다. 앞 장

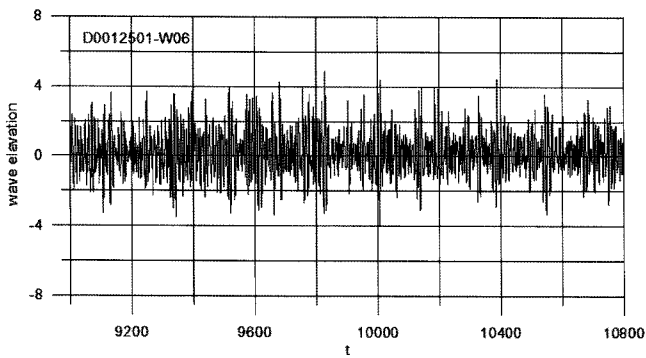


Fig. 7. Time history of wave elevation in 30 minutes after the freak wave.  $H_{max}=7.93$  m and  $H_{1/3}=4.96$  m giving  $H_{max}/H_{1/3}=1.60$ . Wave data from Yura Sea in Japan (1990) (D0012501-W06).

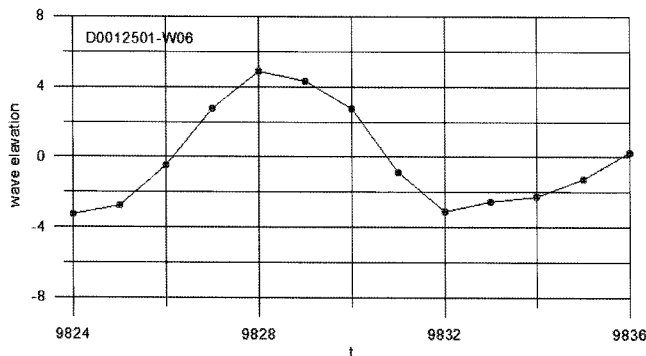


Fig. 8. The most highest wave in the 30-min record in wave record D0012401-W06 in detail.  $H_{max}=7.93$  m,  $T_Z=9.69$ s.

Table 7. Characteristics of 30 minute wave record (D0012401-W06) which follows right after the freak wave at the Yura Sea, Japan on Jan. 25, 1990.

Characteristics of wave record D0012401-W06	
Number of zero crossing	224
Number of waves	223
Significant wave height ( $H_{1/3}$ )	4.96 m
Significant wave period ( $T_{1/3}$ )	9.65 s
Highest 1/10 wave height	6.41 m
Average Wave height	3.08 m
Average wave period	8.07 s
Maximum Wave height	7.93 m
Wave period of maximum wave height	9.69 s
RMS of wave	3.4881 m

에서 살펴본 것과 마찬가지로 최대파고와 최대주기는 크게 연관이 없는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10에 파고와 파주기의 관계를 표시하였다. 높은 파도들은 평균파 주기 근처에 나타나는 것을 볼 수 있다. 여기서 주목할 것은 D0012501-W06의 유의파고가 D0012501-W05의 유의파고보다 작다는 것이다. 따라서 유의파고가 클수록 freak wave가 발생할 확률이 높다고 볼 수 없다는 점을 알 수 있다. 이점은 향후 연구에서 지속적으로 연구되어야 할 것으로 생각한다.

Table 8. Probability of wave height distribution.  $p(H)$  and cumulative wave height distribution  $P(H)$ .  $p_{Ray}$  denotes values from the Rayleigh distribution. (D0012401-W06)

Wave Height	Occurrence	$p(H)$	$p_{Ray}$	$P(H)$	$P_{Ray}$
0.0~0.5	7	0.06278	0.04089	0.03139	0.02034
0.5~1.0	12	0.10762	0.11772	0.08520	0.07891
1.0~1.5	19	0.17040	0.18072	0.17040	0.16884
1.5~2.0	27	0.24215	0.22366	0.29148	0.28019
2.0~2.5	28	0.25112	0.24397	0.41704	0.40172
2.5~3.0	23	0.20628	0.24280	0.52018	0.52276
3.0~3.5	27	0.24215	0.22424	0.64126	0.63463
3.5~4.0	20	0.17937	0.19405	0.73094	0.73155
4.0~4.5	23	0.20628	0.15831	0.83408	0.81069
4.5~5.0	6	0.05381	0.12223	0.86099	0.87188
5.0~5.5	11	0.09865	0.08957	0.91031	0.91678
5.5~6.0	6	0.05381	0.06242	0.93722	0.94813
6.0~6.5	3	0.02691	0.04144	0.95067	0.96896
6.5~7.0	6	0.05381	0.02623	0.97758	0.98218
7.0~7.5	3	0.02691	0.01585	0.99103	0.99018
7.5~8.0	2	0.01794	0.00915	1.00000	0.99481

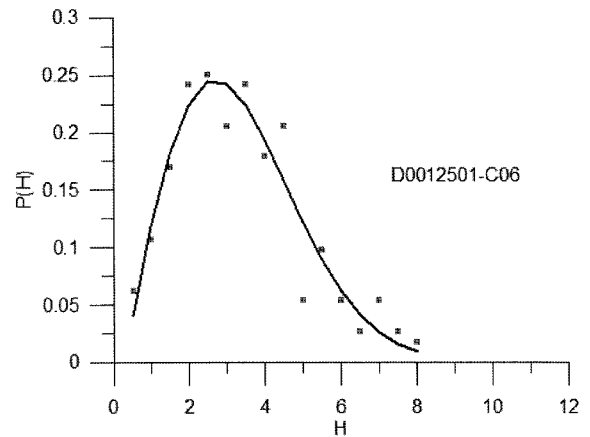


Fig. 9. Wave height distribution (D0012401-W06).

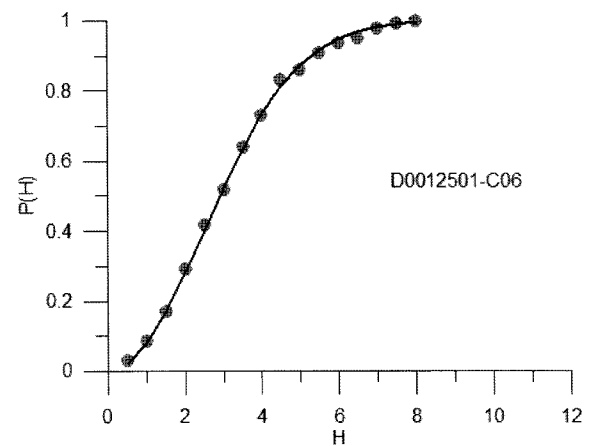


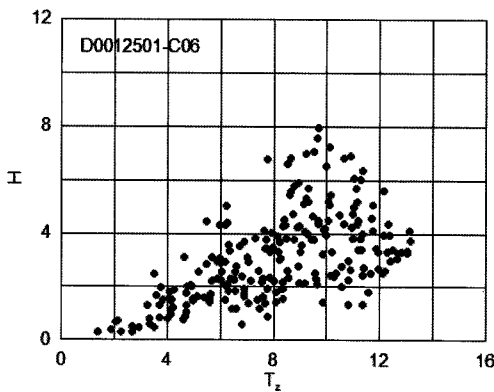
Fig. 10. Cumulative Wave height distribution (D0012401-W06).

**Table 9.** Top ten highest wave and their periods. (D0012401-W06)

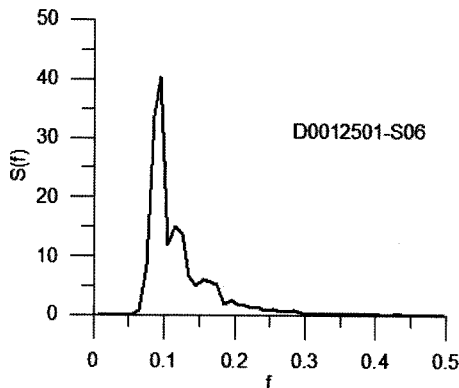
rank	H	$T_z$
1	7.932	9.693
2	7.575	9.656
3	7.219	10.082
4	7.072	9.542
5	7.004	9.243
6	6.891	10.917
7	6.828	10.657
8	6.818	8.624
9	6.784	7.785
10	6.613	8.528

**Table 10.** Top ten longest period waves and their heights. (D0012401-W06)

rank	$T_z$	H
1	13.148	3.736
2	13.113	4.093
3	13.05	3.346
4	13.02	3.277
5	12.812	3.302
6	12.704	3.282
7	12.636	3.053
8	12.472	3.38
9	12.422	2.96
10	12.374	3.961



**Fig. 11.** Wave height and wave period relation (D0012401-W06).



**Fig. 12.** Wave spectrum (D0012401-W06).

**Table 11.** Characteristics of a wave spectrum. (D0012401-W06)

Characteristics of Wave spectrum	
$m_0$	1.7055
$m_1$	0.2090
$m_2$	0.0308
$H_s$	5.22 m
$T_z$	7.44 s
$T_1$ (mean)	8.15 s
$f_p$ (peak)	0.0950 $s^{-1}$
$\nu$ (bandwidth)	0.4460
$S_s$ (steepness)	0.0652
$H_{1/3}/H_s$	0.950

**Table 12.** Wave Spectrum (D0012401-W05)

f	S(f)	f	S(f)
5.00E-03	7.64E-02	2.55E-01	1.13E+00
1.50E-02	6.99E-02	2.65E-01	7.00E-01
2.50E-02	6.14E-02	2.75E-01	6.51E-01
3.50E-02	3.89E-02	2.85E-01	7.94E-01
4.50E-02	4.07E-02	2.95E-01	4.67E-01
5.50E-02	7.88E-02	3.05E-01	2.44E-01
6.50E-02	7.39E-01	3.15E-01	1.66E-01
7.50E-02	8.55E+00	3.25E-01	2.69E-01
8.50E-02	3.36E+01	3.35E-01	2.90E-01
9.50E-02	4.03E+01	3.45E-01	2.73E-01
1.05E-01	1.20E+01	3.55E-01	1.95E-01
1.15E-01	1.50E+01	3.65E-01	1.69E-01
1.25E-01	1.37E+01	3.75E-01	1.41E-01
1.35E-01	6.71E+00	3.85E-01	1.08E-01
1.45E-01	4.96E+00	3.95E-01	1.36E-01
1.55E-01	6.11E+00	4.05E-01	1.37E-01
1.65E-01	5.59E+00	4.15E-01	6.98E-02
1.75E-01	5.25E+00	4.25E-01	1.29E-01
1.85E-01	1.78E+00	4.35E-01	1.05E-01
1.95E-01	2.48E+00	4.45E-01	7.92E-02
2.05E-01	1.85E+00	4.55E-01	8.20E-02
2.15E-01	1.77E+00	4.65E-01	7.39E-02
2.25E-01	1.17E+00	4.75E-01	8.40E-02
2.35E-01	1.31E+00	4.85E-01	7.74E-02
2.45E-01	7.29E-01	4.95E-01	9.40E-02

Fig. 12에 D0012501-W06파랑자료의 파랑 스펙트럼을 표시하였으며 최종 frequency resolution은 0.01 Hz로 표시하였고, Table 11에 스펙트럼의 대표적의 통계치를 표시하였다. 또 Table 12에는 스펙트럼의 값을 표시하였다.

### 4. 결 언

본 논문에서는 Yura 해역에서 24시간 동안 계속된 파랑의 시계열 자료를 분석하였고, 이중 freak wave가 발생한 30분간의 파랑자료와 발생 직후 30분간의 자료를 비교하였으며 파랑의 각종 통계적 특성을 살펴보았다.

본 연구에서 사용된 파랑자료는 비교적 파고가 높은 파도를 가진 해상상태이지만 파고의 누적확률분포는 Rayleigh분포로 잘 표시할 수 있는 것을 볼 수 있다.

계측된 파랑 중 파고의 크기가 상위 10위 안에 드는 파랑과 주기의 길이가 긴 상위 10개의 파랑의 파고와 주기를 살펴보았다. 높은 파고의 파들의 주기는 계측된 파랑의 평균주기 보다 약간 큰 주기를 가지고 있는 것을 살펴볼 수 있다. 파주기가 긴 파도는 파고가 4 m 이하를 기록하고 있다. 따라서 장주기의 파가 직접적으로 높은 파고의 파도와 연관되지 않고 있음을 볼 수 있다. Freak wave에 포함된 파랑자료에서는 최대파의 파고가 10.39 m이고 주기는 8.18초이다, 그리고 유의파고는 4.89 m이다. 이에 비해 freak wave가 발생한 직후의 파랑자료에 포함된 최대파고의 크기는 7.93 m 주기는 9.69초, 유의파고는 4.96 m를 기록하고 있다.

Freak wave가 발생한 파랑자료의 유의파고는 4.89 m이고, 발생 직후의 파랑자료의 유의파고는 4.96 m로, 오히려 freak wave가 발생한 파랑자료의 유의파고가 낮은 것을 볼 수 있다. 따라서 유의파고의 크기가 클수록 freak wave가 발생할 확률이 상대적으로 높아진다고 볼 수 없다는 것을 의미하며 이점은 향후 연구에서 지속적으로 연구되어야 할 것으로 생각한다.

스펙트럼의 특성을 비교해보면 두 개의 파랑자료는 큰 차이를 보이고 있지는 않지만, 비선형성을 나타내는 파라미터인  $H_{1/3}/H_s$ 의 비가 freak wave가 발생한 파랑자료에서 약간 작은 값을 보여주고 있어서 비선형성이 증가한 것을 볼 수 있다.

## 후 기

이 논문은 2006년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음. 사용된 파랑자료의 출처는 아래와 같습니다.

The data used in this paper were obtained from 'At-sea Experiment of a Floating Offshore Structure' by Ship Research Institute, Ministry of Transport, Japan.

## 참고문헌

- [1] Kim D. Y., 1998, Wave Climate at Hong-do and Mara-do Sea Area, J. Korean Soc. for Marine Environmental Eng., Vol. 1, No 27, pp. 71-81.
- [2] Mori, N., 1997, Occurrence properties of giant freak waves in Sea Area around Japan, J. waterway, port, coastal Engineering, July/Aug. 1997, pp. 209-213.
- [3] Liu, P.C. and Pinho, U.F., 2004, Freak waves-more frequent than rare! Annales Geophysics, 22 pp. 1839-1842.
- [4] Mori, N., Pau, C.L. and Yasuda, T., 2002, Analysis of freak wave measurements in the Sea of Japan, Ocean Engineering 29, pp. 1399-1414.
- [5] Mori, N., 2004, Occurrence probability of a freak wave in a nonlinear wave field, Ocean Engineering 31, pp. 165-175.
- [6] Stansell, P., 2005, Distributions of extreme wave, crest and trough heights measured in the North Sea, Ocean Engineering, 32, pp. 1015-1036.

2009년 2월 20일 원고접수

2009년 4월 8일 심사완료

2009년 4월 13일 수정본 채택