

홍도 해역에서 태풍 중 극한파의 통계적 특성에 대한 연구

류황진[†] · 김도영
홍익대학교 조선해양공학과

On Statistical Properties of the Extreme Waves in Hong-do Sea Area During Typhoons

Hwangjin Ryu[†] and Do Young Kim

Naval Architecture & Ocean Engineering, Hongik University,
Chochiwon-up, Yeongi-gun, Chung Cheong Nam-Do, Korea

요 약

본 논문은 1998년부터 2002년까지 대한민국 홍도 해역에 설치된 파향파고계에서 계속된 파랑자료를 이용하여 홍도 해역 파랑의 통계적 특성을 살펴보았다. 파랑관측율과 평균파고, 평균주기, 파향을 요약하였다. 그리고 파고-주기 결합분포표를 작성하였고, n년 반복주기 파고와 최대 파고의 주기를 추정하였다. 2000년과 2002년에 발생한 태풍 “프라피룬”과 “루사”에 의한 파랑의 특성을 파악하였다.

Abstract – In this paper, The statistical properties of ocean waves in the sea area of Hong-do, Korea are examined based on 1998-2002's wave data from a directional wave buoy. Wave data acquisition rate, mean wave heights, frequency of wave direction are summarized. Wave height and period scatter diagrams and n-year return period wave heights are estimated. Wave periods of maximum wave heights are also estimated. Large amplitude wave characteristics during the typhoon Prapiroon in 2000, Rusa in 2002 are also examined.

Keywords: Directional waverider(파향파고계), n-year return period wave height(n년 반복주기 파고), Wave-period scatter diagram(파고-주기 결합분포표), Wave direction(파향)

1. 서 론

해양 및 연안의 이용과 활동범위가 크게 신장되면서 항만 및 해안개발 계획, 해안구조물의 설계, 자연재해(태풍 및 폭풍 등)로 인한 피해를 감소하고 경제적인 해상활동에 대한 기본자료인 우리나라 해역의 파랑특성을 파악하는 것은 중요하다. 파랑특성 중 가장 중요한 것 중 하나는 파랑하중이다. 해양파의 발생 원인은 여러 가지가 있겠지만, 대부분의 경우 바다 위에 불어오는 바람에 의해서 발생한다. 바람에 의해서 발생한 파도는 그 성격이 불규칙하므로 구조물과 파도와의 간섭효과를 해석하기 위해서는 통계적인 방법이 필요하다.

본 논문에서는 1998-2002년 동안 전남 신안군 흑산면 홍도 북서쪽 1.8 km, 수심 45 m 지점에 설치된 부이식 파고계에서 관측된 파랑자료를 이용하여 파랑관측율, H_s 평균치와 $H_{1/3}$ 평균치의 비교, 파향, 파고-주기 결합분포표, n년 반복주기 유의파고 산출과 설계파의 주기를 산출하였고, 특히 2000년과 2002년에 태풍 프라피룬

(Prapiroon)과 루사(Rusa)가 홍도 지역을 통과할 때 위의 지역에 설치된 부이식 파고계로 태풍 통과시 파랑의 특성을 파악할 수 있었다.

이를 통하여 여러가지 파랑추정법에 관련된 연구등에 활용될 수 있는 정보를 제공하고자 하였고, 자연재해(태풍)로 인한 인명, 재산 피해를 감소하는데 기초자료로 활용될 수 있으리라 생각한다.

2. 파랑관측

부이식 파향파고계의 내부에 설치된 가속도계는 3방향 연직가속도를 측정하여 이를 해수면의 변위로 바꾸어 육상의 수신소에 관측자료를 실시간으로 송신한다. 자료는 매 1시간 간격으로 약 13분간 측정된다. 이때 관측된 시계열 자료로부터 스펙트럼을 계산한다. 시계열 자료로는 평균파법으로 통계치들을 계산하고, 스펙트럼으로는 스펙트럼법에 의한 각종 통계치들을 계산한다.

2.1 스펙트럼법

성분파의 파고의 제곱을 주파수의 함수로 표시한 것을 에너지 스펙트럼이라 하고 스펙트럼 모멘트에 의한 파랑특성계수를 표시한다.

[†]Corresponding author: dykim@hongik.ac.kr

- 유의파고: $H_s = 4\sqrt{m_0}$
- 평균영점상향교차주기: $T_z = \left(\frac{m_0}{m_1}\right)^{1/2}$
- spectrum peak 주기: $T_p = 1/f_p$

여기서, m_0 는 파형의 분산이며 스펙트럼 아래의 면적을 나타내고, m_1 은 스펙트럼의 1차 모멘트이다.

2.2 평균파법

개개의 파에서 파고 및 주기를 구하여 다음과 같은 대표치를 정의하여 불규칙한 파랑을 표시한다.

- 최대파고와 그 주기(H_{max}, T_{max}): 파군 중에서 파고가 최대인 파랑 및 이의 주기.
- 1/10파고와 그 주기($H_{1/10}, T_{1/10}$): 파군 중에서 파고가 큰 쪽부터 세어서 총 파수의 1/10에 해당하는 파고 및 이에 대응하는 주기의 평균 값.
- 1/3파고와 그 주기($H_{1/3}, T_{1/3}$): 파군 중에서 파고가 큰 쪽부터 세어서 총 파수의 1/3에 해당하는 파고 및 이에 대응하는 주기의 평균 값.
- 평균파고, 평균주기(H_{mean}, T_{mean}): 관측된 전체 파랑의 파고와 주기를 평균한 값.

파랑관측에 사용된 부이는 Datawell사에서 제작한 파랑관측 부이이며 모양은 구형이고 지름은 약 1m 정도의 크기이다. 부이식 파향파고계의 내부에 설치된 가속도계는 3방향 연직가속도를 측정하여 이를 해수면의 변위로 바꾸어 HF(27 Mhz)로 육상의 수신소에 관측자료를 실시간으로 송신한다. 자료는 매 1시간 간격으로 약 13분간 측정된다. 이때 관측된 가속계 신호를 이용하여 해수면의 변위에 대한 시계열 자료를 계산하고 이로부터 파랑스펙트럼을 계산한다. 시계열 자료를 이용하여 평균파법으로 각종 통계치들을 계산하고, 또한 스펙트럼법에 의한 각종 통계치들을 계산한다.

3. 태풍 프라피룬과 루사

Fig. 1, 2는 각각 2000년과 2002년에 발생한 태풍 “프라피룬”과 “루사”의 모습을 보여주고 있다. 2002년에 발생한 제15호 태풍 “루사”는 보통의 태풍이 전향점인 30°N 부근에서 편서풍대를 만나 약화되어 우리나라에 상륙할 때는 그 세력이 많이 약화되는 일반적인 특징에서 벗어나 8월 31일 15시 30분경 전라남도 고흥반도에 상륙할 때까지도 중심기압 960 hPa의 강력한 태풍으로 유지되었다. 태풍 “루사”에 동반된 많은 강수량과 강풍은 우리나라 곳곳에 많은 피해를 입혔다. 특히 강릉 지방의 일 강수량(역대1위), 제주 고산 지방의 순간 최대풍속이 초속 56.7 m를 기록, 지난 2000년 8월 31일 태풍 “프라피룬”의 58.3 m에 이어 사상 2위를 차지했고 지역별 각종 기상 기록을 경신하였다. 이러한 강풍은 해상상태를 극한상태로 만들고 이로 인해 발생하는 극한파는 항만이나 해양구조물의 안정성에 큰 영향을 미치고, 인명과 재산 피해 또한 막대하다.

2000년과 2002년에 발생한 태풍 “프라피룬”과 “루사”에 의한 파랑의 특성을 파악하여 항만 및 해안개발 계획, 해양구조물의 설

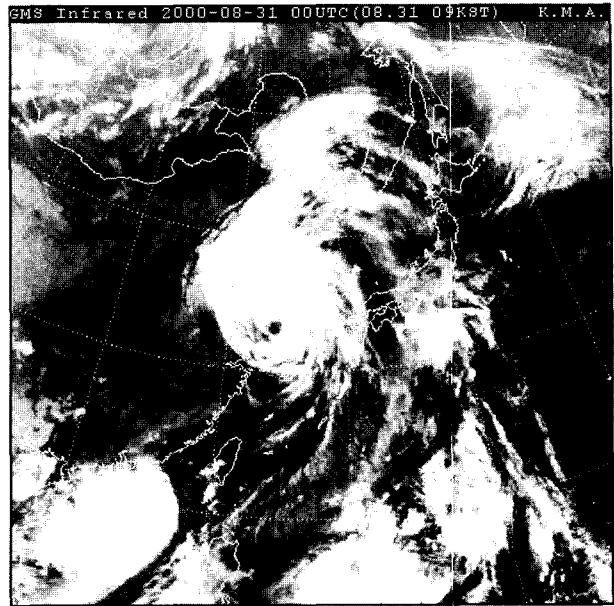


Fig. 1. Typhoon Prapiroon in 2000.

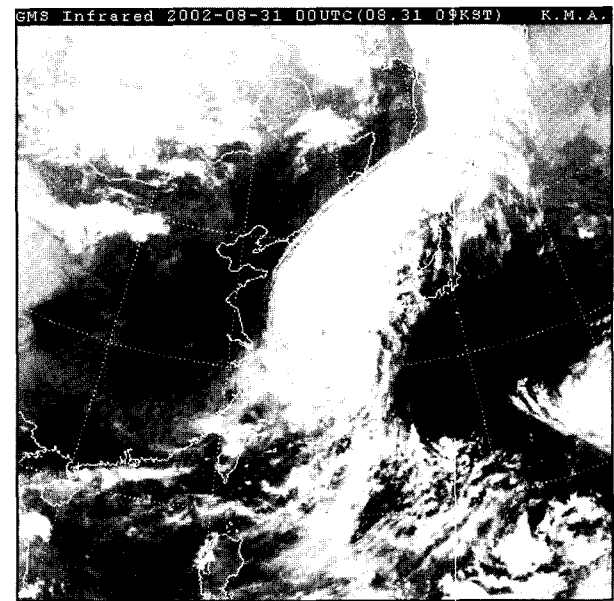


Fig. 2. Typhoon Rusa in 2002.

계, 자연재해(태풍 및 폭풍 등)로 인한 피해를 감소하고 경제적인 해상활동에 대한 기초자료로 활용될 수 있으리라 생각한다.

4. 결과 및 고찰

Table 1은 홍도 파랑관측소의 1998년부터 2002년의 관측율이다. 1998년 관측율은 49.1%이고, 1999년 관측율은 80.8%, 2000년 관측율은 80.3%, 2001년 관측율은 82.9%, 2002년 관측율은 80.9%이다. 5년간의 전체 관측율은 약 74.8% 이다.

Table 2의 결과에서 보면 $H_{1/3}$ 와 H_s 의 비는 0.9~1.0 사이로 나오는데 0.9로 갈수록 즉, 두 파고의 차이가 클수록 파고분포는 광

Table 1. The observation rate of Hong-do wave observatory (%)

년 \ 달	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	년
1998	-	34.4	54.0	78.8	55.6	-	-	-	97.5	100.0	99.2	70.2	49.1
1999	93.5	81.7	100.0	91.3	98.4	98.3	72.6	44.8	87.1	89.5	69.2	43.5	80.8
2000	99.6	94.0	94.8	27.1	53.6	87.5	40.7	89.5	98.3	88.3	95.8	94.4	80.3
2001	99.6	97.8	97.6	97.1	75.0	32.9	83.9	74.2	62.9	97.6	97.1	79.0	82.9
2002	91.9	91.1	94.0	10.8	21.4	98.3	86.3	85.5	95.8	98.0	99.6	97.6	80.9

Table 2. Comparison of mean H_s & mean $H_{1/3}$

연도	H_s	$H_{1/3}$	$H_{1/3}/H_s$
1998	0.90	0.87	0.97
1999	0.87	0.85	0.98
2000	0.97	0.95	0.98
2001	0.99	0.96	0.97
2002	1.02	0.94	0.92

대역과 비선형성을 보이고 1.0으로 갈수록 파고분포는 협대역이며 선형이다. 홍도에서는 $H_{1/3}$ 와 H_s 의 비가 0.92~0.98으로 나타나고 있다.

파고자료에 기록되는 파향은 2차원 스펙트럼분석을 하여 에너지의 분포를 얻는데, 이 중 에너지가 가장 큰 방향을 파향으로 한다. 본 연구에서는 0~360°으로 측정된 파향을 총 16개의 방위로 나누어 그래프로 나타내었다. Fig. 3과 4는 홍도의 파향을 계절, 년, 5년 종합으로 나누어 나타내었다. Fig. 3에서 계절별 파향을 보면, 홍도의 파랑방향은 겨울(12월~2월)에는 북, 북서방향, 봄(3월~5월)에는 북, 북서와 남서방향이 혼합된 모습을 보이다가 여름(6월~8월)에 남서방향이 되고, 가을(9월~11월)에는 겨울과 비슷한 모습을 보인다.

Fig. 4에서 연도별 파향을 살펴보면 다른 년도에 비해 1998년

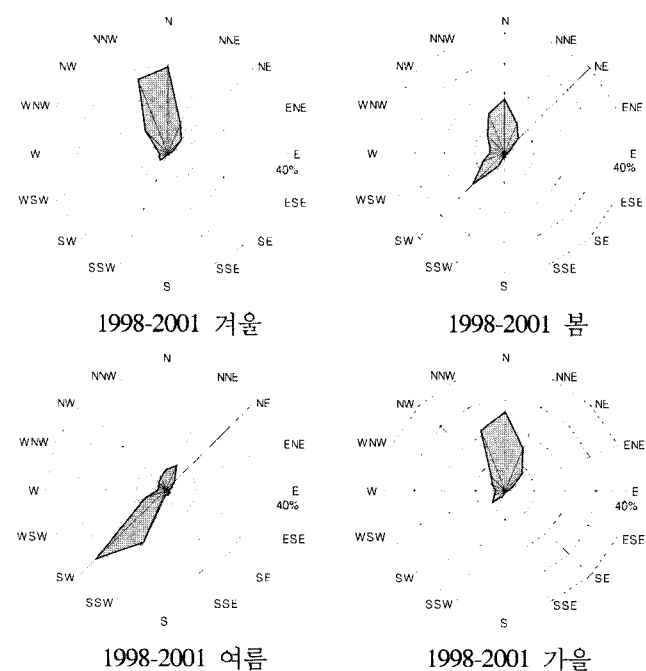


Fig. 3. The frequency a waves direction appearance of the hong-do (season).

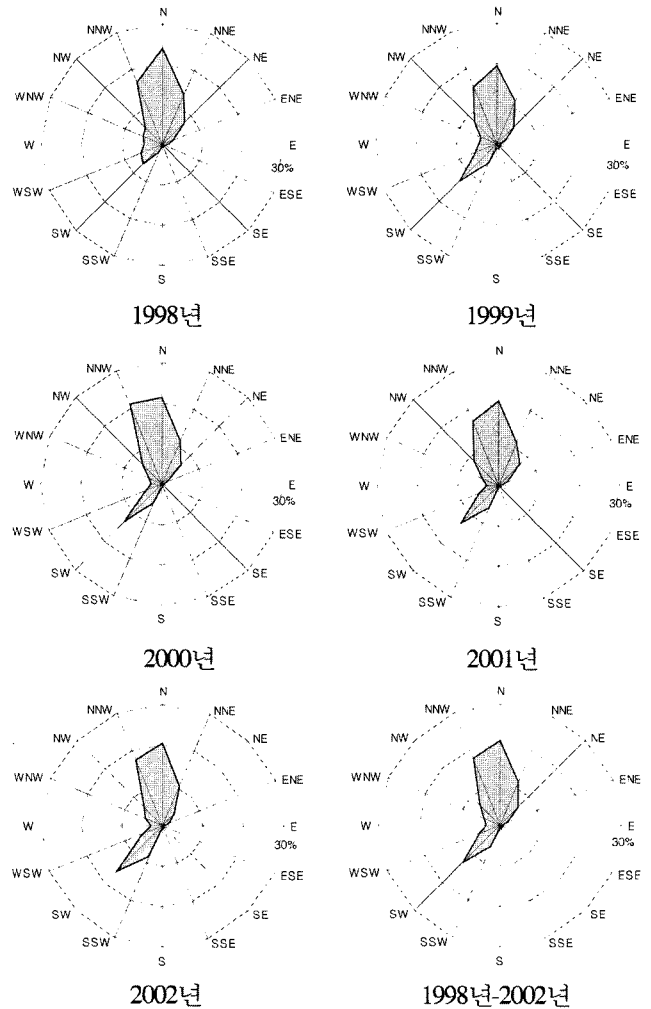


Fig. 4. The frequency a waves direction appearance of the hong-do (year).

의파향중에 남서쪽 파향이 적게 나오는 것을 볼수 있다. 이는 1998년의 여름철 자료가 계속되지 못한 결과라 사료되고, 홍도 지역에서는 북, 북북서, 남서 파향이 지배적임을 볼 수 있다.

파고와 주기의 분포를 보여주는 결합분포표를 작성하였다. 그런데, T_2 는 모든 파들의 영점상향통과 주기의 평균이어서 각 계급의 유의파고 H_s 의 평균 주기와는 직접적인 관계가 없다. 따라서 파고-주기 관계를 정확히 파악하기는 어렵다는 단점이 있다. 따라서 파고주기 결합분포를 $H_{1/3}$ 과 $T_{1/3}$ 을 바탕으로 표시하는 것도 의미가 있다고 생각되어 두 가지의 파고주기 결합분포도를 제시하였다. Table 3, 4는 주기와 파고를 0.5간격으로 계급을 정하였고 이에 해당하는 파도의 발생횟수를 표시하였다.

Table 3. Scatter diagram of $H_x - T_x$. Total number of observation is 10968 (Hong-do, 1998-2002).

T_x/H_x	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	Sum	Prop(%)	Accu	Prop(%)
6.5-7.0														0	0.0	0	0.0
6.0-6.5													1	1	0.0	1	0.0
5.5-6.0												2	2	2	0.0	3	0.0
5.0-5.5										2		3	2	7	0.1	10	0.1
4.5-5.0										11		9		20	0.2	30	0.3
4.0-4.5										30		9	1	48	0.4	78	0.7
3.5-4.0									12	68		2		121	1.1	199	1.8
3.0-3.5								4	124	101		2	1	247	2.3	446	4.1
2.5-3.0								98	176	73		1		354	3.2	800	7.3
2.0-2.5								251	128	29		1		549	5.0	1349	12.3
1.5-2.0				1				248	70	17				899	8.2	2248	20.5
1.0-1.5			5	210	570	471	168	33	6	1				1464	13.3	3712	33.8
0.5-1.0		35	483	976	862	365	91	32	14	2				2862	26.1	6574	59.9
0.0-0.5	6	491	1572	1446	657	163	43	14	2					4394	40.1	10968	100.0
Sum	0	6	526	2060	2633	2237	1549	903	589	318	110	28	9	10968			
Prop(%)	0.0	0.1	4.8	18.8	24.0	20.4	14.1	8.2	5.4	2.9	1.0	0.3	0.1				
Accu	0	6	532	2592	5225	7462	9011	9914	10503	10821	10931	10959	10968				
Prop(%)	0.0	0.1	4.9	23.6	47.6	68.0	82.2	90.4	95.8	98.7	99.7	99.9	100.0				

Table 4. Scatter diagram of $H_{1/3} - T_{1/3}$. Total number of observation is 10968 (Hong-do, 1998-2002).

T_x/H_x	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0	9.0-9.5	9.5-10.0	10.0-10.5	10.5-11.0	11.0-11.5	11.5-12.0	Sum	Prop (%)	Accu	Prop (%)
6.0-6.5																						0	0.0	0	0.0
5.5-6.0																						3	0.0	3	0.0
5.0-5.5																						5	0.0	8	0.1
4.5-5.0																						13	0.1	21	0.2
4.0-4.5																						33	0.3	54	0.5
3.5-4.0																						98	0.9	152	1.4
3.0-3.5																						214	2.0	366	3.3
2.5-3.0																						340	3.1	706	6.4
2.0-2.5																						532	4.9	1238	11.3
1.5-2.0																						891	8.1	2129	19.4
1.0-1.5				6	73	283	394	372	201	79	27	3	2	2	1							1443	13.2	3572	32.6
0.5-1.0			36	356	614	704	625	298	111	46	25	18	9	6	3	1						2854	26.0	6426	58.6
0.0-0.5	1	28	152	1035	1420	939	524	229	110	53	24	12	7	4	2							4541	41.4	10967	100.0
Sum	1	28	188	1397	2107	1953	1664	1219	828	614	433	291	145	70	15	9	1	3	0	1	10968				
Prop(%)	0.0	0.3	1.7	12.7	19.2	17.8	15.2	11.1	7.5	5.6	3.9	2.7	1.3	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
Accu	0	2	218	1615	3722	5675	7339	8558	9386	10000	10433	10724	10869	10939	10954	10963	10964	10967	10967	10967	10968				
Prop(%)	0.0	0.3	2.0	14.7	33.9	51.7	66.9	78.0	85.6	91.2	95.1	97.8	99.1	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0				

두 개의 Table를 비교해보면 H_s - T_z 그리고 $H_{1/3}$ - $T_{1/3}$ 결합분포가 정성적으로는 비슷한 경향들을 보이고 있다. 그리고 파고의 분포 범위 보다는 주기의 분포범위가 더 많은 것을 볼 수 있다. 특히 평균파법에 의한 결과에서 주기의 범위가 훨씬 큰 범위까지 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 T_z 와 $T_{1/3}$ 의 차이에서 오는 결과이다. $T_{1/3}$ 의 주기분포를 보면 주기가 11.5초 이상 되는 것도 있다. 홍도에서는 파고와 파침도가 크지 않으나 주기가 긴 파도가 비교적 많이 발생하는 것을 볼 수 있다.

계측한 H_s , T_z 를 이용하여 반복주기 n 년을 가지는 설계파고를 결정하기 위한 n 년 반복주기 유의파고 H_{Sn} 을 결정하겠다. 먼저 H_{Sn} 을 계산하기 위해서는 본 연구에서는 해양파에 적용되어서 좋은 결과를 주고 있는 분포함수 중에서 Fisher-Tippet Type-1 extreme distribution function(FT-1)을 사용하였다.

4년간의 관측자료로부터 산출한 유의파고 누적확률분포도를 작성하였는데, Fig. 5와 6는 H_s 와 $H_{1/3}$ 의 FT-1 분포이다. 분포도의 자료점들이 선형적으로 직선에 잘 fitting 되는 것을 볼 수 있다.

Table 5는 분포도의 자료점들을 최소자승법으로 fitting한 직선

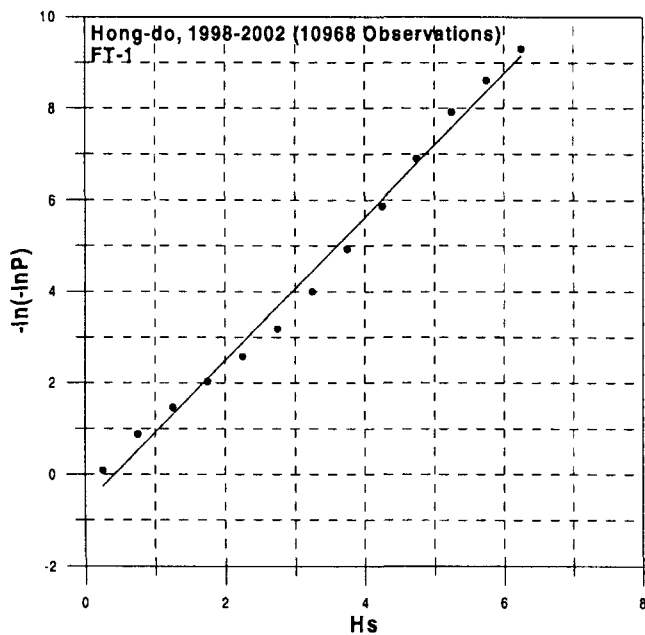


Fig. 5. Cumulative probability distribution of H_s at Hong-do, based on FT-1 distribution.

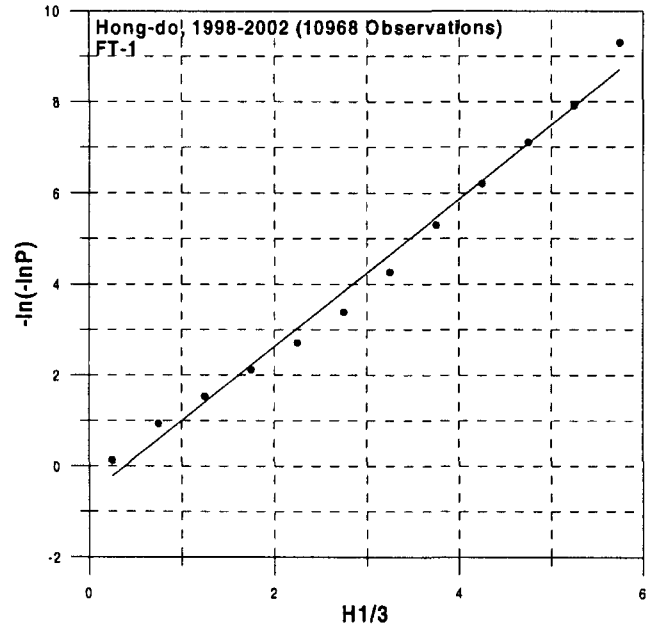


Fig. 6. Cumulative probability distribution of $H_{1/3}$ at Hong-do, based on FT-1 distribution.

Table 5. Estimation of n-return period extrem wave height.

관측 지점	누적분포함수		FT-1	
	n년 반복주기	10년	50년	100년
홍도	H_s	6.79 m	7.81 m	8.27 m
	$H_{1/3}$	6.55 m	7.54 m	8.26 m

에 의해 산출한 10년, 50년, 100년 반복주기 유의파고 산출표이다. 설계파고는 앞 절에서 언급한 방법으로 산출할 수 있지만 이에 따른 주기는 앞 절과 같은 방법으로 산출하지 못한다. 따라서 설계파고에 따르는 주기의 특성을 파악하기 위해 실제 계측된 큰 파도에서의 파고와 주기의 관계를 관측하여 간접적으로 추정하기로 한다. Table 6에서 10는 1998년부터 2002년에 관측된 파랑자료 중에서 최대파고 그룹(상위 10개까지)에 속하는 파에 대한 여러 가지 주기를 보여주고 있다.

최대파의 순위가 유의파고의 순위가 아님을 볼 수 있고, 최대파의 크기가 크다고 주기가 길지도 않음을 볼 수 있다. 최대파의 주기 T_{max} 와 평균주기 T_{mean} 의 비를 살펴보면, T_{max}/T_{mean} 은 0.9보다 큰

Table 6. Comparison of various periods about a H_{max} and the wave period corresponding to H_{max} (1998).

H_s	T_z	H_{max}	T_{max}	T_{mean}	H_{max}/H_s	T_{max}/T_{mean}	T_{max}/T_z	T_{mean}/T_z
4.71	7.05	7.69	8.94	7.90	1.63	1.13	1.27	1.12
4.70	6.78	7.21	8.80	6.90	1.53	1.28	1.30	1.02
4.17	7.65	7.08	8.99	8.23	1.70	1.09	1.18	1.08
3.62	6.27	6.75	8.11	7.42	1.86	1.09	1.29	1.18
4.18	7.08	6.74	9.23	7.54	1.61	1.22	1.30	1.06
3.80	6.27	6.59	7.61	6.64	1.73	1.15	1.21	1.06
3.69	6.39	6.42	15.37	7.08	1.74	2.17	2.41	1.11
4.26	6.52	6.40	8.00	6.92	1.50	1.16	1.23	1.06
4.34	6.99	6.32	8.61	7.73	1.46	1.11	1.23	1.11
3.61	6.41	6.26	8.15	6.79	1.73	1.20	1.27	1.06

Table 7. Comparison of various periods about a H_{\max} and the wave period corresponding to H_{\max} (1999).

H_s	T_z	H_{\max}	T_{\max}	T_{mean}	H_{\max}/H_s	T_{\max}/T_{mean}	T_{\max}/T_z	T_{mean}/T_z
6.10	7.93	9.12	8.89	8.81	1.50	1.01	1.12	1.11
5.77	7.63	8.21	9.78	8.30	1.42	1.18	1.28	1.09
5.41	7.00	8.20	8.71	7.17	1.52	1.21	1.24	1.02
4.45	7.07	7.93	8.68	7.64	1.78	1.14	1.23	1.08
4.66	7.26	7.65	7.94	7.54	1.64	1.05	1.09	1.04
5.12	7.03	7.47	10.24	7.39	1.46	1.39	1.46	1.05
4.36	7.18	7.44	9.08	7.25	1.71	1.25	1.26	1.01
4.59	6.50	7.11	7.55	7.12	1.55	1.06	1.16	1.10
4.98	7.04	6.96	8.43	7.45	1.40	1.13	1.20	1.06
4.53	6.69	6.92	9.45	7.65	1.53	1.24	1.41	1.14

Table 8. Comparison of various periods about a H_{\max} and the wave period corresponding to H_{\max} (2000).

H_s	T_z	H_{\max}	T_{\max}	T_{mean}	H_{\max}/H_s	T_{\max}/T_{mean}	T_{\max}/T_z	T_{mean}/T_z
5.17	6.96	7.77	9.51	7.51	1.50	1.27	1.37	1.08
3.70	6.66	6.30	8.43	7.29	1.70	1.16	1.27	1.09
4.00	6.24	6.29	8.66	6.81	1.57	1.27	1.39	1.09
4.21	6.33	6.26	7.56	7.20	1.49	1.05	1.19	1.14
3.96	6.42	6.10	7.43	7.04	1.54	1.06	1.16	1.10
3.59	6.02	6.02	6.89	6.94	1.68	0.99	1.14	1.15
3.62	5.90	5.97	7.25	6.82	1.65	1.06	1.23	1.16
3.64	6.24	5.95	8.75	6.58	1.63	1.33	1.40	1.05
4.40	7.23	5.94	8.87	7.46	1.35	1.19	1.23	1.03
3.76	6.82	5.90	7.40	7.24	1.57	1.02	1.09	1.06

Table 9. Comparison of various periods about a H_{\max} and the wave period corresponding to H_{\max} (2001).

H_s	T_z	H_{\max}	T_{\max}	T_{mean}	H_{\max}/H_s	T_{\max}/T_{mean}	T_{\max}/T_z	T_{mean}/T_z
4.59	6.94	7.88	8.84	7.16	1.72	1.23	1.27	1.03
4.16	7.25	7.48	18.27	7.99	1.80	2.29	2.52	1.10
3.94	6.48	6.98	8.42	6.75	1.77	1.25	1.30	1.04
4.01	6.59	6.91	8.52	7.08	1.72	1.20	1.29	1.07
3.74	6.54	6.71	8.10	7.22	1.79	1.12	1.24	1.10
3.92	6.63	6.69	8.44	7.16	1.71	1.18	1.27	1.08
4.53	6.83	6.52	7.11	7.61	1.44	0.93	1.04	1.11
4.07	6.59	6.51	7.59	7.34	1.60	1.03	1.15	1.11
4.38	6.99	6.50	7.69	7.56	1.48	1.02	1.10	1.08
3.35	5.99	6.49	6.48	6.39	1.94	1.01	1.08	1.07

Table 10. Comparison of various periods about a H_{\max} and the wave period corresponding to H_{\max} (2002).

H_s	T_z	H_{\max}	T_{\max}	T_{mean}	H_{\max}/H_s	T_{\max}/T_{mean}	T_{\max}/T_z	T_{mean}/T_z
5.45	7.72	10.18	9.12	7.92	1.87	1.15	1.18	1.03
5.72	7.83	9.20	9.10	7.93	1.61	1.15	1.16	1.01
5.14	7.51	8.62	9.14	7.92	1.68	1.15	1.22	1.05
5.17	7.38	8.09	11.15	7.42	1.56	1.50	1.51	1.01
4.71	6.92	7.90	8.78	6.81	1.68	1.29	1.27	0.98
4.29	6.81	7.19	9.70	7.23	1.68	1.34	1.42	1.06
4.60	6.87	7.13	7.59	7.01	1.55	1.08	1.10	1.02
5.02	6.79	7.13	9.30	7.05	1.42	1.32	1.37	1.04
4.84	7.39	7.03	9.93	7.04	1.45	1.41	1.34	0.95
4.14	6.36	6.96	7.95	6.72	1.68	1.18	1.25	1.06

값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 최대파와 평균영점상향교차주기의 비 T_{\max}/T_z 는 T_{\max}/T_{mean} 보다 큰 것을 볼 수 있다. 최대파의 주

기는 평균주기보다 최대 129%까지 큰 값을 보이고 있으며 최대파의 주기는 평균영점상향교차주기보다 152%정도까지 큰 것을 볼

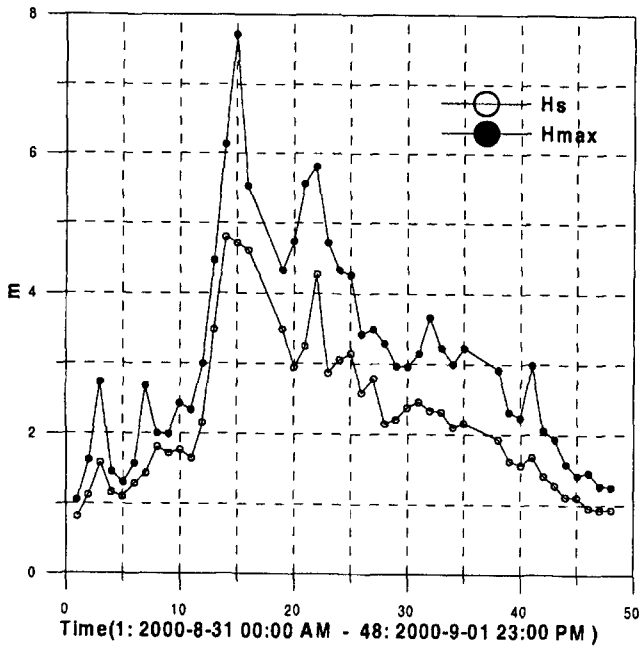


Fig. 7. Comparison of a typhoon Prapiroon H_s & H_{max} .

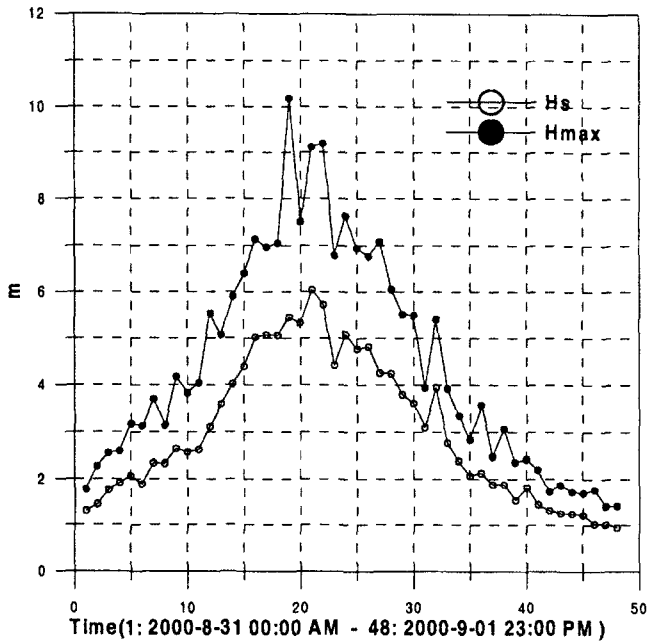


Fig. 8. Comparison of a typhoon Rusa H_s & H_{max} .

수 있다. 최대파주기에 대한 평균영점상향교차주기를 평균하여 이의 관계를 근사적으로 산출하면 최대파의 주기는 평균영점상향교차주기의 1.23배 정도이다.

Fig. 7, 8은 2000년과 2002년에 홍도를 지나간 태풍 프라피룬과 루사의 H_s 와 H_{max} 를 나타낸 그림이다. 계측된 태풍 프라피룬의 최대파고 H_{max} 는 2000년 8월 31일 14시에 계측된 7.71 m이고 이때의 H_s 는 4.72 m이고, 태풍 루사의 최대파고 H_{max} 는 2002년 8월 31일 20시에 계측된 9.12 m이고 이때의 H_s 는 6.04 m이다. 이때의 H_{max} 와 H_s 의 비는 Table 11에 정리하였고, 태풍기간 동안의 와의

Table 11. Comparison of H_s , H_{max} of a typhoon Prapiroon & Rusa.

태풍	H_{max}	H_s	H_{max}/H_s
프라피룬	7.71 m	4.72 m	1.63
루사	9.12 m	6.04 m	1.51

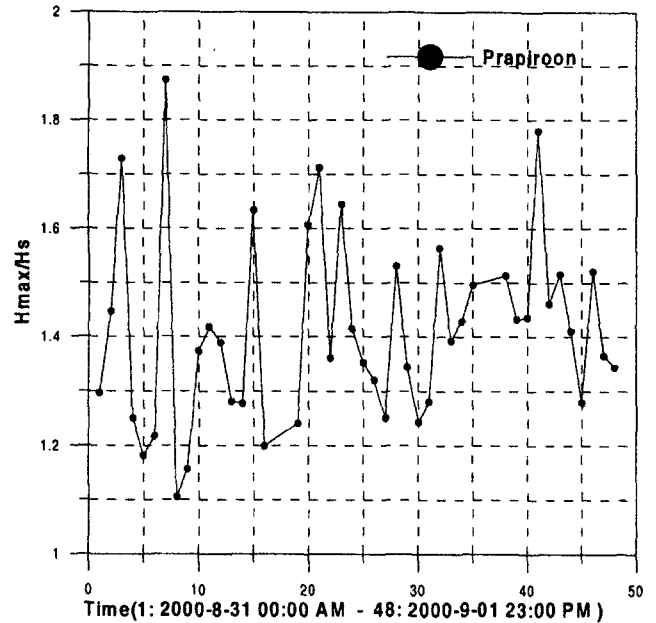


Fig. 9. H_{max}/H_s of a typhoon Prapiroon.

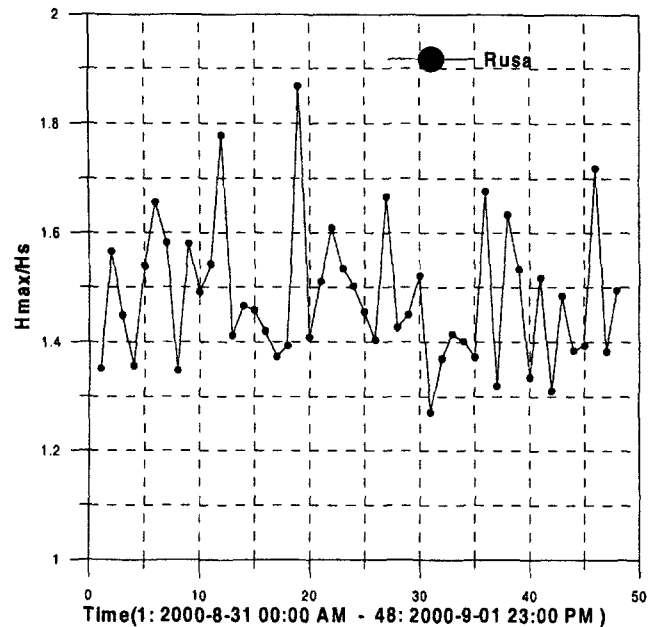


Fig. 10. H_{max}/H_s of a typhoon Rusa.

비는 Fig. 9, 10에 정리하였다. 프라피룬의 H_{max} 와 H_s 의 비는 1.10-1.87이고 루사의 H_{max} 와 H_s 의 비는 1.27-1.87이다.

해양 및 연안의 이용과 항만 및 해안개발 계획, 해안구조물의 설계등에서 이용하고 있는 최대파고의 산출식은 Longuet-Higgins (1952)에 의해 식 (1)과 같이 주어진다.

$$H_{max} = 0.707H_s[\sqrt{\ln N} + \gamma\sqrt{2\ln N}] \quad (1)$$

여기서 N 은 파도의 갯수, γ 는 Euler's 계수로 0.5772이다. 여기서 파도의 개수가 많으면 식 (2)은

$$H_{max} = 0.707H_s\sqrt{\ln N} \quad (2)$$

이된다. 그러나 주파수의 대역폭이 협대역이 아닌 경우에는 개별 파고 분포에 Longuet-Higgins가 제안한 modified Rayleigh distribution을 사용할수 있으나, 여기에서는 경험상수인 K 를 결정해야하는 단점이 있다.

$$p(h) = \frac{H}{4K^2m_0} \exp(-H^2/8K^2m_0) \quad (3)$$

그래서 김도영[1]이 제안한 K 값의 결정 방법인 식 (4)와 이를 이용한 H_{max} 를 추정식 식 (5)를 이용하여 H_{max} 를 추정하여 실제 측정된 H_{max} 와 비교하여보았다.

$$K = H_{1/3} / H_s \quad (4)$$

$$H_{max} = KH_s \left[\ln \frac{N}{2} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Fig. 11과 12에서 일반적으로 알려진 비와 같이 Rayleigh distribution에 의해 계산된 H_{max} 는 계속된 H_{max} 에 비해 과대평가 됨을 볼 수 있다.

그리고 식 (4)을 이용하여 K 값을 결정한 modified Rayleigh distribution의 H_{max} 추정치가 Rayleigh distribution에 의한 H_{max} 보다 실제 측정된 H_{max} 에 더 근사함을 볼 수 있고, Rayleigh distribution에 의해 계산된 H_{max} 보다 최대 22%, 정도의 정확도를 상승시키는 결과가 나왔다.

Goda(1985)는 해양구조물과 수직 방파제(caisson-type)의 설계를 위한 H_{max} 를 식 (6)과 같이 각각 제안 하였다.

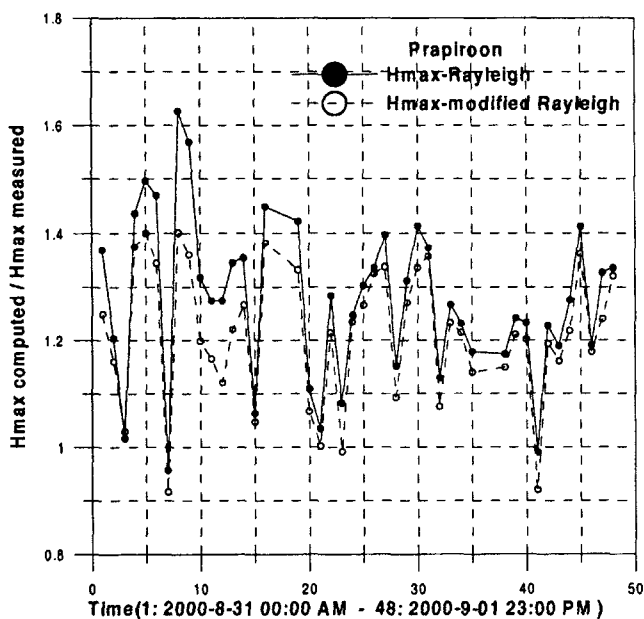


Fig. 11. Comparison of H_{max}/H_{max} -Rayleigh distribution & H_{max}/H_{max} -modified Rayleigh distribution of a typhoon Prapiroon.

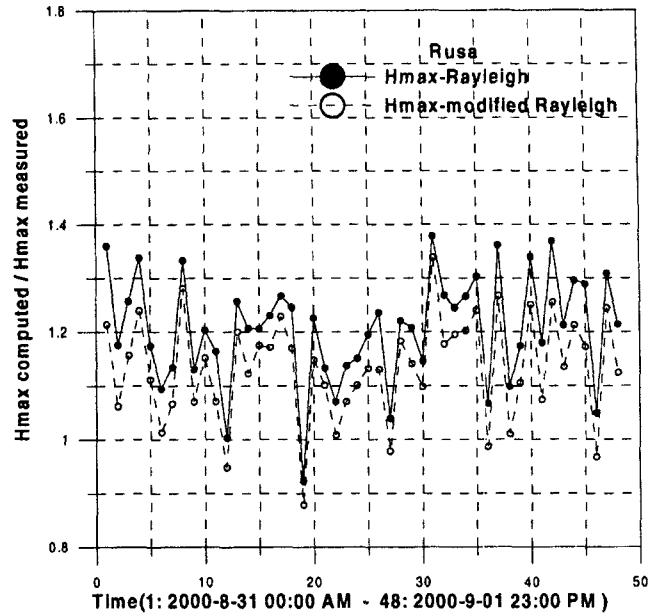


Fig. 12. Comparison of H_{max}/H_{max} -Rayleigh distribution & H_{max}/H_{max} -modified Rayleigh distribution of a typhoon Rusa.

Table 12. H_{max} according to a n-return period H_s .

n 년	H_s (m)	$H_{1/3}$ (m)	$H_{max} H_s$ (m)	$H_{max} H_{1/3}$ (m)
10	6.79	6.55	10.86	10.48
50	7.81	7.54	12.49	12.06
100	8.27	8.26	13.23	13.22

$$H_{max} = 2.0 H_s, H_{max} \approx 1.8 H_s \quad (6)$$

그래서 해양 및 연안의 이용과 항만 및 해안개발 계획, 해안구조물의 설계등에서 이용하고 있는 최대파고의 산출식은 대략식 (7)와 같다.

$$H_{max} = (1.6\sim 2.0) H_s \quad (7)$$

Table 11에서 보듯이 H_{max} 와 H_s 의 비가 식 (7)의 범위에 포함되는 것을 볼 수 있고 n년 반복유의파고와 비교해 보기 위하여 식 (7)의 계수를 1.6으로 정하고 10년 50년 100년의 최대파고를 추정하여 Table 12에 정리 하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 홍도에 설치된 파향파고계에서 계속된 파랑자료 중 1998년부터 2002년의 자료를 사용하여 통계적인 특성파악 및 설계파 산출에 필요한 n년 반복주기 유의파고 산출과 설계파의 주기를 추정하였고, 태풍 프라피룬과 루사에 의한 극한 해상상태의 통계적 특성을 파악하였다.

1) 1998년에서 2002년까지 5년 동안의 파랑관측율은 약 74.8%이었으며, H_s 와 $H_{1/3}$ 파고 평균치의 비는 0.92~0.98이다. 그리고 평균유의파고는 0.95 m이고, 평균 1/3파고는 0.91 m이다. 겨울(12월~2월)에는 북, 북서방향, 봄(3월~5월)에는 북, 북서와 남서방향이

혼합된 모습을 보이다가 여름(6월~8월)에 남서방향이 되고, 가을(9월~11월)에는 겨울과 비슷한 모습을 보인다. 1998-2001년도의 최대파주기에 대한 평균영점상향교차주기의 평균치는 $T_{max} \approx 1.23T_z$ 이다.

2) n년 반복주기 유의파고 산출에 FT-1 누적확률분포를 이용하여 10년 반복주기 유의파고는 11.02 m, 50년 반복주기 유의파고는 12.61 m, 100년 반복주기 유의파고는 13.28 m이고 H_s 와 $H_{1/3}$ 의 FT-1 분포의 자료점들이 선형적으로 직선에 잘 fitting 된다.

3) 태풍 프라피룬의 최대파고 H_{max} 는 7.71 m이고 이때의 H_s 는 4.72 m이고, 태풍 루사의 최대파고 H_{max} 는 9.12 m이며 이때의 H_s 는 6.04 m이다. 프라피룬의 H_{max} 와 H_s 의 비는 1.10~1.87이고 루사의 H_{max} 와 H_s 의 비는 1.27~1.87이다.

4) Rayleigh distribution에 의해 계산된 H_{max} 는 계측된 H_{max} 에 비해 과대평가 됨을 볼 수 있다. Modified Rayleigh distribution을 사용한 H_{max} 추정치가 Rayleigh distribution에 의해 계산된 H_{max} 보다 최대 22%, 정도의 정확도를 상승시키는 것을 볼 수 있었다.

[2] 한국해양연구소, 1998, “1998년 해상파랑관측 및 조사”, 해양수산부.
 [3] 안용호, 정진영, 류황진, 김도영, 2001, “98-99 마라도 해역에서의 파랑의 특성”, 한국해양공학회 추계학술대회논문집, 108~116.
 [4] 류황진, 김도영, 2003, “마라도 해역에서의 파랑의 특성”, 한국 해양환경공학회 춘계학술대회, 논문집, 207~213.
 [5] Forristall, G.Z., 1978, On the statistical distribution of wave heights in a storm. J. Geophys. Res. 80, 2353~2358.
 [6] Tucker M.J., 1991, Waves In Ocean Engineering, Measurement, Analysis, Interpretation. Ellis Horwood, 119~132.
 [7] Robert G. Dean. 1984, Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Prentice-Hall, 187~209.
 [8] Rahman, 1994, Water wave Relating Modern Theory to Advanced Engineering Applications, Oxford, 202~232.

2003년 12월 22일 원고접수
 2004년 2월 12일 수정본 채택

참고문헌

[1] 김도영, 1998, “홍도와 마라도 해역에서의 파후에 대하여”, 한국해양환경공학회지, 1권 2호.